

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы	
<b>Главный электропривод горизонтальной клетки чистовой группы непрерывно-заготовочного стана прокатного стана</b>	

УДК 62-83-52:621.771.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Герасимов Артем Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	Кандидат технических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Ю.Н.	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника  
(бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Ю.Н. Дементьев  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Герасимову Артему Владимировичу

Тема работы:

<b>Главный электропривод горизонтальной клетки чистовой группы непрерывно-заготовочного стана прокатного стана</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
---------------------------------	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; расчет статических и динамических характеристик, принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>-схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Фигурко Аркадий Альбертович</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Заключение</p>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.03.2017г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.			06.03.2017г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Герасимов Артем Владимирович		06.03.2017г.

## РЕФЕРАТ

В выпускной квалификационной работе сделаны проверочный расчет существующего оборудования горизонтальной клетки №10 непрерывно-заготовочного стана обжимного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Выпускная квалификационная работа включает в себя 133 листов печатного текста, 33 таблицы, 37 рисунков, использовано 9 источников литературы.

Выпускная квалификационная работа включает в себя четыре раздела: описание процесса технологического, осуществлен выбор элементов и расчет параметров канала силового электропривода регулируемого, финансовый менеджмент, социальная ответственность.

В разделе описание процесса технологического описана работа технологического участка, так же электропривод и конструкция прокатной клетки, представлен кинематический чертеж, а также проведена аргументация рода тока.

В разделе избрание элементов и вычисление параметров силового канала электропривода регулируемого произведен избрание электрооборудования, вычисление параметров и характеристик элементов цепи силовой. В соответствии с кинематической схемой прокатной клетки и параметрами прокатываемого металла произведен расчет и был выбран электродвигатель постоянного тока. Был произведен избрание комплектного регулируемого электропривода, выбран управляемый преобразователь якорной цепи и цепи обмотки возбуждения.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является расчет и определение перспективности и успешности проекта, его оценка эффективности, а так же уровня возможных рисков, построение механизма управления и сопровождения конкретных решений проектных на этапе реализации.

В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	13
1.1 Рабочий механизм. Назначение, описание. Кинематическая схема	13
1.2 Выбор рода тока и типа электропривода	15
1.3 Расчет и выбор электродвигателя	19
1.4 Расчет параметров механической системы привода	24
2 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	
СИЛОВОГО КАНАЛА РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	26
2.1 Выбор силового оборудования	26
2.1.1 Выбор тиристорного преобразователя для питания двигателя	26
2.1.2 Выбор силового преобразовательного трансформатора	27
2.1.3 Выбор сглаживающего реактора	28
2.2 Выбор тиристорного возбудителя двигателя	30
2.2.1 Выбор трансформатора для питания тиристорного возбудителя	31
2.2.2 Параметры обмотки возбуждения двигателя	32
2.2.3 Параметры тиристорного возбудителя	33
2.2.4 Параметры силовой цепи обмотки возбуждения	33
2.3 Расчет параметров силовой цепи	34
2.3.1 Параметры тиристорного преобразователя якорной цепи	34
2.3.2 Параметры схемы “ТП - эквивалентный двигатель”	35
2.3.3 Расчет параметров тиристорного преобразователя якоря для схемы “ТП - эквивалентных двигателя”	37
2.4 Область работы и предельные характеристики схемы “ТП - эквивалентный двигатель”	38
2.5 Электромеханические характеристики системы преобразователь – двигатель	41
2.6 Структурная схема силового канала	45
2.7 Линеаризованная САУ РЭП	48

2.7.1 Структурная схема линеаризованной САУ ЭП	48
2.7.2 Оптимизация контура тока якоря	48
2.7.3 Оптимизация контура скорости двигателя	52
2.7.4 Контур скорости возмущающих воздействий	55
2.7.5 Оптимизация контура САУ ЭДС двигателя	57
2.7.5.1 Контур тока возбуждения	58
2.7.5.2 Контур ЭДС двигателя	62
2.8 Нелинейная САУ РЭП	66
2.8.1 Анализ основных нелинейностей электропривода	66
2.8.2 Структурная схема САУ ЭП	67
2.8.3 Исследование электропривода на имитационных моделях	70
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	75
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	77
3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	77
3.1.1 Потенциальные потребители проекта	78
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	80
3.1.3 Оценка коммерческого потенциала инженерных решений	81
3.1.4 Определение научно-технической эффективности	83
3.2. Планирование комплекса работ на создание проекта	85
3.2.1 Определение трудоемкости работ	86
3.2.2 Планирование пуско-наладочных работ (ПНР)	87
3.2.3 Состав бригады для проведения ПНР	92
3.3. Бюджет проектной работы	92
3.4. Расчет расходов при эксплуатации электропривода	97
3.5. Определение экономической эффективности исследования	102
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	106
4 Социальная ответственность	108

4.1 Введение	108
4.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов	109
4.2.1 Опасные факторы при наладке электропривода	109
4.2.2 Вредные факторы	111
4.3 Техника безопасности	112
4.4 Производственная санитария	114
4.5 Пожарная безопасность	116
4.5.1 Категория производства	116
4.5.2 Причины и источники пожаров в цехе, меры по их предотвращению	117
4.5.3 Первичные средства тушения пожара	118
4.6 Охрана окружающей среды	119
4.7 Чрезвычайные ситуации	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
Список используемых источников	128
ПРИЛОЖЕНИЕ А	129



## ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы механизм был современен наиболее продолжительный срок, она обязана владеть может быть большей новшеством выполняемого ею рабочего процесса и поболее высочайшими технико-экономическими признаками в сравнении с тем, которые достигнуты на машинках данного предназначения в мировой практике.

В этот момент по собственному технологическому уровню как машины, но и аппараты в общем обязаны быть абсолютней собственными предшественников. Для преодоления данных креативных проблем нужно тщательное исследование в критериях эксплуатации и ремонта раньше сделанного оборудования. Иначе говоря металлургические цехи, где установлены и действуют новые металлургические механизмы и аппараты, обязаны работать начальной базой для конструкторских планов.

Необходимость в прокатном оборудовании продолжает подрастать и разъясняется тем, собственно прокатка из всех методов обработки металлов использует большим распространением вследствие непрерывности процесса, высочайшей производительности и способности получения продуктов лично различной формы и усовершенствованного свойства. Прокатные продукты как из стали, но и из разноцветных металлов (листы, полосы, ленты, разные сортовые профили, трубы, болванки элементов автомашин) считаются более экономным продуктом – окончательным для металлургических компаний и начальным в машиностроении, строительстве и прочих секторах экономики этнического хозяйства.

Проблематика понижения общегосударственных трудов и вещественных издержек по производству проката обязана сначала решаться в направлении экономии сплава, в следствии совершенствования его физических и механических параметров и производства этих видов проката, которые выделяли бы вероятность

снижать плодотворную и научно-техническую металлоёмкость автомашин, строй систем и прочих металлопотребляющих объектов.

Потому нужно сразу с повышением размеров производства металлов улучшить в значительной степени качество и расширить сортамент продукции темной металлургии. С помощью увеличения свойства металлоизделий возможно значительно понизить удельный расход стали и данным минимизировать серьезные издержки, нужные для ублажения нашей державы сплавом.

В особенности высокими способностями увеличения свойства металлопродукции владеет создание проката. Среди главных направлений в развитии производства эконом видов проката и труб надлежит выделить 4:

1. Увеличение точности объемов прокатываемых профилей и труб, то есть понижение возможного поля допусков на объемы профиля.
2. Придание профилю проката и трубы формы, обеспечивающей лучшее внедрение сплава как в лично сборки, но и в ходе ее производства.
3. Увеличение свойства сплава тепловым либо термомеханическим упрочнением.
4. Нанесение особых покрытий на прокат и трубы для придания плоскости необходимых физико-химических параметров и преимущественно для охраны их от ржавчины.

Высокоэффективность процесса постоянного литья слябов, блюмов либо иной болванки для ее следующей прокатки известна. Хотя данная отдача еще больше растет при соединении процесса литья с прокаткой в некоем аппарате либо стане. Использование данного научно-технического процесса для получения проката постоянным способом из водянистого сплава раскрывает огромные возможности в деле увеличения производительности металлургического производства.

При таковой технологии получается применять первичную теплоту слитка для его деструкции, ликвидировать промежуный склад сплава и достигнуть

абсолютной непрерывности в ходе литья и прокатки, собственно даст внезапное увеличение производительности труда.

Прогрессивные сборки и системы регулировки прокатных станов свидетелем существенно увеличить отточенность прокатываемых продуктов, то есть сбавить поле допусков сравнивая с действующими эталонами.

Главные методы точности увеличения прокатки:

1. Использование может быть наиболее размеренного температурного режима прокатки; при всем этом надлежит учесть, собственно колебание температурного режима прокатки вдвойне оказывает влияние на отточенность объемов прокатываемого профиля.

2. Увеличение жесткости трудящихся клеток имея цель понижения различия в тугой деструкции клетки в следствии неминуемого конфигурации усилий, работающих на валки при прокатке.

3. Использование систем механического регулировки межвалкового расстояния зависимо от показаний датчика профиля либо усилий на валки.

4. Механическое регулировка натяжения сплава в ходе прокатки либо абсолютное его уничтожение (у постоянных станов жаркой прокатки).

Одним из финансовых видов проката считается листовой либо широкополосовой, в особенности холоднокатаный.

Из листового проката можнж выделять очень нетяжелые и самые различные штампованные и сварные системы. Использование сварных систем из листового проката заместо железных отливок достигается убавление их массы примерно на 30-50%. Сварные: трубы и прочие профили, выделяемые из полосового проката, обычно, получается делать наиболее тонкостенными сравнивая с горячекатаными, и их использование в обмен заключительных понижает расход сплава на 10-15%.

Финансовые расчеты говорят, собственно более действенными для производства листов из стали считаются широкополосовые постоянные либо полунепрерывные станы, которые в сравнении со станами иных типов прибыльнее

как по эксплуатационным затратам, но и по начальным удельным расходам. Данное разъясняется наименьшим расходным коэффициентом, большей производительностью стана, а как следует, и труда, наименьшей массой оборудования, приходящейся на единицу издаваемой продукции, и прочими факторами.

Нежели труднее рабочий процесс, исполняемый аппаратом, более производительность и объемы аппарата, тем паче нужна автоматизация. Рулить передовым металлургическим оборудованием обязаны автоматические системы, способные устанавливать наивыгоднейший режим работы аппаратов и поддерживать необходимые характеристики имея цель получения продукции высочайшего свойства.

# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## 1.1 Рабочий механизм. Назначение, описание. Кинематическая схема

Прокатная клеть состоит из следующих механизмов (рисунок 1):

клеть-11 – рабочая часть, состоит из 2-ух валков лежачего вида, созданных для обжатия сплава нужного калибра;

шпиндели-9 – созданы для передачи вращения от шестерной клетки валкам, прикрепляются и к валкам и к шестерной клетки шарнирами;

шестеренная клеть-8 – создана для передачи вращения 2 валкам. Представляет из себя зубчатую передачу из шестерен схожего поперечника, размещается в замкнутой коробке.

редуктор-13 – уготован чтобы при маленькой скорости прокатки возможно было использовать движок с что же касается немаленький номинальной скоростью.

На рисунке 1 показана кинематическая схема механизма прокатной клетки. Основные параметры частей механизма клетки:

- диаметр муфты – 750 мм;
- длина муфты – 550 мм;
- диаметр вала между двигателем и редуктором – 300 мм;
- длина вала – 6800 мм;
- диаметр малой шестерни редуктора – 400 мм;
- длина малой шестерни редуктора – 500 мм;
- диаметр большой шестерни редуктора – 600 мм;
- длина большой шестерни редуктора – 500 мм;
- диаметр шестерни шестеренной клетки – 600 мм;
- длина вала шестеренной клетки – 1100 мм;
- диаметр шпинделя – 450 мм;
- длина шпинделя – 1300 мм;
- диаметр бочки валка – 580 мм;
- длина бочки – 800 мм.

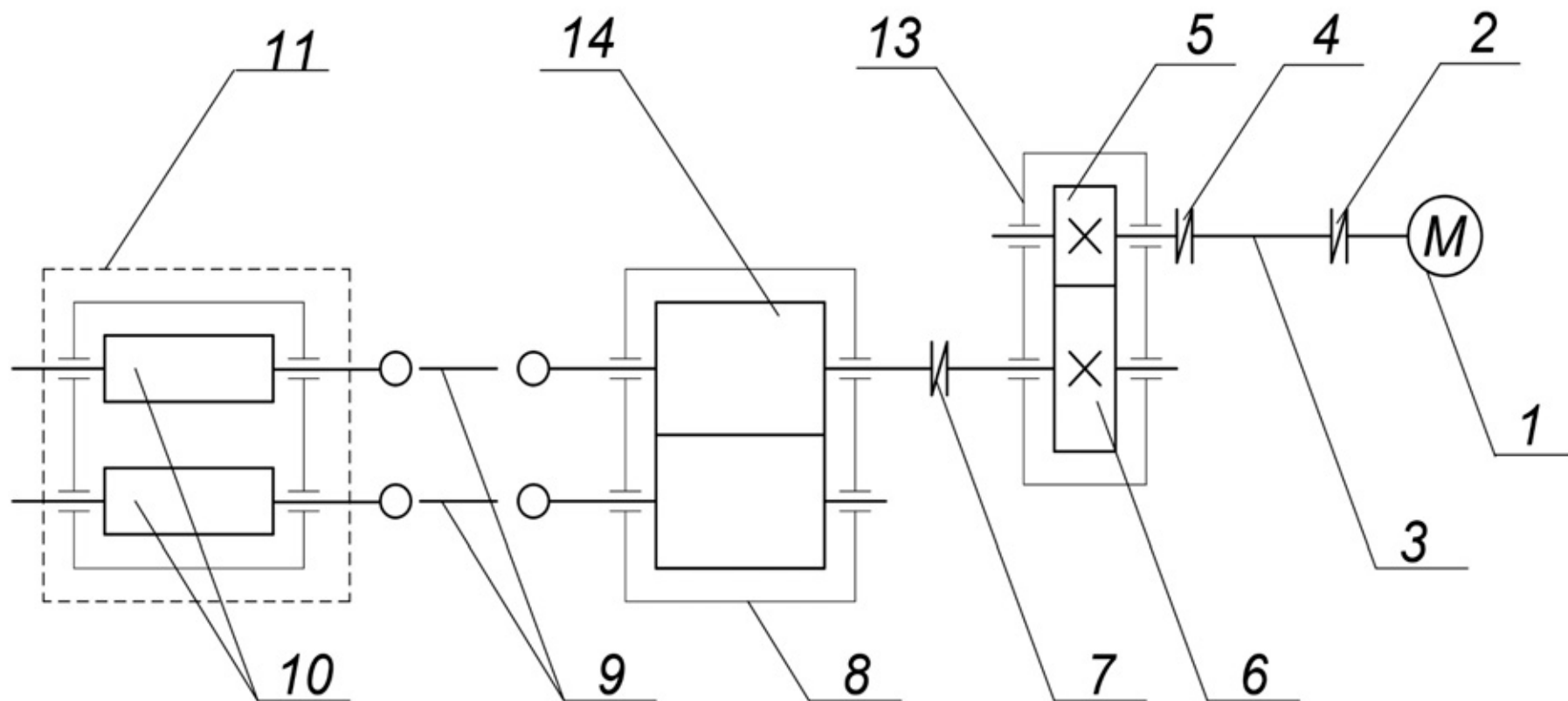


Рисунок 1 – Кинематическая схема общего вида:

1 – электродвигатель; 2,4,7 – муфты; 3 – вал; 5- быстроходная шестерня редуктора; 6 – тихоходная шестерня редуктора; 8 – шестеренная клеть; 9 – шпиндели; 10 – прокатные валки,11-клеть,12- шестерни шестеренной клетки,13-редуктор.

## 1.2 Выбор рода тока и типа электропривода

Выбор типа рода тока и вида эл-привода делается исходя из нескольких критериев, предъявляемых к режиму работы исправного приспособления.

Более распространенным типом эл-привода переменного тока считается электропривод с короткозамкнутым асинхронным движком.

Частотное регулировка скорости электроприводов переменного тока с короткозамкнутыми асинхронными двигателями находит все наибольшее использование в разных областях техники.

Более действенные методы регулировки скорости мотора соединены с конфигурацией скорости вращения электрического поля статора. Присутствует 2 главных метода регулировки скорости вращения электрического поля: конфигурацией количества пар полюсов и конфигурацией частоты напряжения статора мотора.

Преобразование переменного напряжения питающей сети в переменное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током производят преобразователи частоты. В настоящее время преобразователи частоты производятся на базе силовых полупроводниковых ключей.

На манер взаимосвязи с питающей сетью преобразователи частоты на полупроводниковых составляющих разделяются на 2 огромных класса:

- преобразователи частоты с конкретной взаимосвязью;
- преобразователи частоты со звеном неизменного тока.

Преобразователи частоты имеющих звено постоянного тока к тому же разделяются на:

- автономные инверторы тока (АИТ);
- автономные инверторы напряжения (АИН).

В собственной текстуре автономные инверторы содержат выпрямитель, силовой фильтр и инвертор, модифицирующий неизменное напряжение (ток) в переменное напряжение (ток) данной частоты.

Преобразователи частоты с конкретной взаимосвязью

Достоинством конкретных преобразователей частоты считаются:

- единоразовое переустройство энергии, собственно описывает высочайший КПД преобразователя;
- вероятность прохождения реактивной силы как от сети к перегрузке, но и назад;
- вероятность получения напряжения в отсутствии гармоник с частотами кратными частоте питающей сети.

Недочеты:

- сложность приборов управления. Огромное количество тиристоров просит огромного количества систем импульсно фазового управления;
- коэффициент силы преобразователя значительно менее единицы ( $\cos\varphi \approx 0,15$ );
- значительно искажается форма напряжения питающей сети;- проблемы получения частот, недалёких к частоте питающей сети.

Для никакой схемы наибольшая частота выходное напряжения обыкновенно ограничивается

$$f_{lmax} = 16 \text{ Гц.}$$

Переход к мостовой схеме расширяет рабочий диапазон до

$$f_{lmax} = 25 \text{ Гц}$$

Потому асинхронные электроприводы с конкретными преобразователями частоты используются для безредукторных электроприводов центральной и немаленький силы.

Автономные инверторы тока

Главные плюсы преобразователей частоты с автономными инверторами тока:

- вероятность рекуперации энергии в сеть;
- ближайшее к синусоидальному выходное напряжение;
- безаварийность режима недлинного замыкания в перегрузке.

Недочеты:

- лимитирование weekend частоты на уровне 100-125 Гц;



- коммутационные перенапряжения на тиристорах, собственно принуждает усложнять силовую схему;
- невозможность работы на массовую нагрузку;
- значительные авторитет и габариты индуктивного фильтра.

#### Автономные инверторы напряжения

Достоинства инвертора напряжения содержатся:

- в наиболее строгой выходящей вольтамперной характеристике;
- в способности заслуги огромных пределов регулировки частоты;
- в способности работы, как с двигателем одиночным, так и с двигателями группой;

#### Недочеты:

- немалая емкость электролитического конденсатора фильтра. Емкость конденсатора обязана быть более 1000 мкФ на любой кв установленной силы мотора;
- силы инверторов напряжения сравнимо маленькие 3 – 1500 кВт·А;
- проблемы обеспечения рекуперации электронной энергии в сеть в тормозных режимах.

Для этого эл-привода употребляется движок неизменного тока, имеющий последующие достоинства:

- наиболее высочайшая перегрузочная способность, добиваемая 2,5 –кратной величины (у асинхронных движков она не превосходит 2,25 –кратной величины);
- мягенькая механическая черта, коя выдает наиболее незначительный промежуток времени разгона приспособления и движок проще переносит толчки перегрузки;
- малый эпизод инерции;
- электронное торможение движков неизменного тока исполняется легче и выделяет наилучшие эффекты, нежели торможение асинхронного мотора;
- дозволяют регулировка скорости в широких границах;

- техника управления на неизменном токе легче и надежнее в действии, нежели техника управления на переменном токе.

Для запитки мотора тока постоянного вида есть системы управления:

- генератор – мотор;
- транзисторный преобразователь – мотор;
- тиристорный преобразователь – мотор.

Коротко разглядим их плюсы и недочеты и подберем более приемлемый контролируемый выпрямитель.

Система генератор – мотор (Г-Д) позволяющая плавно регулировать скорость мотора и фактически не вносящая искажений (помех) в питающую сеть, имеет огромную установленную мощность электронных автомашин – как следует, наиболее маленький КПД, огромные габариты и массу. Помимо всего этого, данная система просит огромного численности коммутационной техники и имеет высшую шумность.

Система транзисторный преобразователь – движок невзирая на простоту управления транзисторами (транзистор – стопроцентно контролируемый устройство) и высочайший КПД (до 0,98%), хотя её использование ограничено мощностью элементной базы (транзисторов).

Система тиристорный преобразователь – движок (ТП-Д) имеет высочайший КПД преобразователя (до 0,98%), наименьшую мощность установленного оборудования, недоступность подвижных долей, небольшие габариты и массу, бесшумность в работе, высочайший уровень автоматизации, немаленький срок работы.

Проанализировав вероятные варианты и сопоставив их с притязаниями, мы видим о потребности изыскания в виде эл-привода прокатной клетки систему - тиристорный преобразователь – мотор..

### 1.3 Расчет и выбор электродвигателя

Расчет мощности электродвигателя произведем по методике, изложенной в [5, с. 83]. В расчетный формуляр (таблица 1) заносим основные технологические данные, необходимые для расчетов.

Таблица 1 – Формуляр для расчета мощности двигателя по кривым удельного расхода энергии

N пп	Технические данные	Обозн.	Ед.изм.	Значение
1	2	3	4	5
1.	Размеры исходной заготовки			
2.	Масса	$m$	$m$	10
3.	Ширина	$b$	$мм$	127
3.	Высота	$h$	$м$	172
4.	Размеры конечного профиля			
5.	Толщина	$h_k$	$мм$	103
5.	Ширина	$b_k$	$мм$	103
6.	Длина	$l_k$	$м$	60

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
7.	Размеры после клетки			
8.	Толщина до прохода	$h_0$	$мм$	127
8.	Толщина после прохода	$h_1$	$мм$	103
9.	Длина после прохода	$l$	$м$	60
10.	Время прохода	$t$	$с$	31
11.	Удельный расход энергии за проход	$W$	$кВт \cdot ч/м$	2,4
12.	Момент холостого хода			
12.	Маховый момент механизма,	$M_{xx}$	$H \cdot м$	$10,6 \cdot 10^3$
13.	приведенный к валу приводного двигателя			
14.	Окружная скорость волков	$GD^2_{м.прив}$	$кг \cdot м^2$	3199
14.	Передаточное число редуктора	$V$	$м/с$	4,1
15.	КПД редуктора	$i_{ред}$	-	1,83
16.	Длительность цикла прокатки	$\eta_{ред}$	-	0,93
17.		$t_{ц}$	$с$	40

Определим момент прокатки

$$M_n = 10^5 \cdot \frac{m \cdot D \cdot W \cdot g}{l} = 10^5 \cdot \frac{10 \cdot 0,58 \cdot 1,6 \cdot 9,81 \cdot 10^3}{60} = 227,6 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $D = 0,58$  – диаметр валка, м;

$W = 2,4$  – удельный расход энергии по [5, с.157] при  $L = 2,05$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}$ ;

$$L = 2,05 = \frac{b \cdot h}{b_K \cdot h_K} - \text{вытяжка}.$$

Находим общий момент с учетом моментов трения в механизме

$$M = M_n + M_{x.x.} = 227,6 \cdot 10^3 + 10,6 \cdot 10^3 = 238,2 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем среднеквадратичный момент

$$M_{ск} = \sqrt{\frac{M_n^2 \cdot t + M_{x.x.}^2 \cdot t_{x.x.}}{t_{\Sigma}}} = \sqrt{\frac{(227,6 \cdot 10^3)^2 \cdot 31 + (10,6 \cdot 10^3)^2 \cdot 9}{40}} = 200,4 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Отношение Общего момента к среднеквадратичному

$$\frac{M}{M_{ск}} = \frac{238,2 \cdot 10^3}{200,4 \cdot 10^3} = 1,189.$$

Потребная мощность на валках

$$P_n = \frac{M_{ск} \cdot n_в}{0,975} = \frac{200,4 \cdot 10^3 \cdot 135}{0,975} = 2774,8 \text{ кВт}.$$

Скорость вращения валков

$$n_в = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 4,1}{\pi \cdot 0,58} = 135 \text{ об} / \text{мин}.$$

Скорость вращения двигателя

$$n_{дв.расч} = n_в \cdot i_{ред} = 135 \cdot 1,83 = 247 \text{ об} / \text{мин}.$$

Потребная мощность двигателя

$$P_{дв.расч} = \frac{P_n}{\eta_{ред}} = \frac{2774,8}{0,93} = 2983,6 \text{ кВт}.$$

По полученным расчетным параметрам двигателя:  $P_{дв.расч} = 2983,6 \text{ кВт}$ ;  $n_{дв.расч} = 247 \text{ об/мин}$ , выбираем электродвигатель типа П2-21/33-3,15. Справочные и расчетные параметры электродвигателя приведены в таблице 2

Таблица 2 – Параметры электродвигателя П2-21/33-3,15

Наименование	Обозначение, расчетная формула	Численное значение
1	2	3
1. Паспортные параметры		
Номинальная мощность, $\text{кВт}$	$P_{дв.ном}$	3150
Номинальное напряжение, $\text{В}$	$U_{дв.н}$	930
Номинальный ток, $\text{А}$	$I_{дв.н}$	3620
Номинальная скорость вращения, $\text{об/мин}$	$n_{дв.н}$	315
Максимальная скорость вращения, $\text{об/мин}$	$n_{дв.макс}$	500
Перегрузка по току	$\lambda_{дв} = \frac{I_{макс}}{I_{н}}$	2,25
Номинальное напряжение возбуждения, $\text{В}$	$U_{вн}$	220
Номинальный ток возбуждения, $\text{А}$	$I_{вн}$	53
Число пар полюсов	$2p$	14

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Число витков обмотки возбуждения на полюс	$W_{\phi}$	201
Номинальный ток возбуждения полюса, $\text{Вб}$	$\Phi_{н}$	0,115
Сопротивление обмотки якоря, $\text{Ом}$	$R_{оя+15^{\circ}\text{C}}$	0,00317
Сопротивление обмотки добавочных полюсов, $\text{Ом}$	$R_{дп+15^{\circ}\text{C}}$	0,000662
Сопротивление компенсационной обмотки, $\text{Ом}$	$R_{ко+15^{\circ}\text{C}}$	0,0028
Сопротивление обмотки возбуждения, $\text{Ом}$	$R_{\phi}$	2,35
Маховый момент, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$GD^2_{дв}$	20500

Допустимая величина пульсаций тока якоря, %	$p(l)\%$	(2-5)
2. Расчетные параметры		
Сопротивление цепи якоря двигателя горячее, Ом	$R_{\text{дв.гор}} = 1.38 \cdot (R_{\text{оя}+15^{\circ}\text{C}} + R_{\text{дн}+15^{\circ}\text{C}} + R_{\text{ко}+15^{\circ}\text{C}})$	0,00915
Номинальная угловая скорость, рад/с	$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{30}$	32,98
Максимальная угловая скорость, рад/с	$\omega_{\text{дв.макс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.макс}}}{30}$	52,36
Индуктивность цепи якоря, Гн	$L_{\text{дв}} = 0.1 \frac{U_{\text{дв.н}}}{p \cdot I_{\text{дв.н}} \cdot \omega_{\text{дв.н}}}$	$0,111 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент ЭДС, (В·с)/рад, и электромагнитного момента, (Н·м)/А	$k\Phi_{\text{н}} = c = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{дв.гор}}}{\omega_{\text{дв.н}}}$	27,19

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Конструктивный коэффициент двигателя	$k = \frac{k\Phi_{\text{н}}}{\Phi_{\text{н}}}$	236
Номинальная ЭДС двигателя, В	$E_{\text{дв.н}} = c \cdot \omega_{\text{дв.н}} + I_{\text{дв.н}} R_{\text{дв.гор}}$	929,85
Номинальный момент, Н·м	$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}}$	95512,4
Электромагнитный момент, соответствующий номинальному току, Н·м	$M_{\text{эм.н}} = c \cdot I_{\text{дв.н}}$	98427,8
Момент трения на валу двигателя, Н·м	$M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}}$	2915,4
Момент инерции, кг·м	$J_{\text{дв}} = \frac{GD_{\text{дв}}^2}{4}$	5125
Максимальный допустимый ток двигателя, А	$I_{\text{дв.макс}} = I_{\text{дв.н}} \cdot \lambda_{\text{дв}}$	8145
Минимальный поток возбуждения, Вб	$\Phi_{\text{мин}} = \frac{\omega_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.макс}}} \Phi_{\text{н}}$	0,072

Скорость вращения валков при номинальной скорости вращения двигателя

$$n_{\text{валк}} = \frac{n_{\text{дв.н}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{315}{1,83} = 172,13 \text{ об/мин}$$

или

$$\omega_{\text{валк}} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{валк}} = \frac{\pi}{30} \cdot 172,13 = 18,016 \text{ рад/с}.$$

Линейная скорость вращения валков (прокатки) при номинальной скорости двигателя

$$V_{\text{валк}} = R_{\text{валк}} \cdot \omega_{\text{валк}} = 0,29 \cdot 18,016 = 5,225 \text{ м/с},$$

где  $R_{\text{валк}} = 0,29$  – радиус бочки валка, м.

Скорость вращения валков при максимальной скорости вращения двигателя в режиме ослабления поля

$$n_{\text{валк.макс}} = \frac{n_{\text{дв.макс}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{500}{1,83} = 273,22 \text{ об/мин}$$

или

$$\omega_{\text{валк.макс}} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{валк.макс}} = \frac{\pi}{30} \cdot 273,22 = 28,6 \text{ рад/с}.$$

Линейная скорость вращения валков (прокатки) при номинальной скорости двигателя

$$V_{\text{валк.макс}} = R_{\text{валк}} \cdot \omega_{\text{валк.макс}} = 0,29 \cdot 28,6 = 8,29 \text{ м/с}.$$

$$\text{м/с}.$$

## 1.4 Расчет параметров механической системы привода

Общий вид клетки с приводом групповым волков представленна на рисунке 2

## Момент приведенный инерции механизма

$$J_{m.np} = \frac{GD^2_{m.np}}{4} = \frac{3190}{4} = 797,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

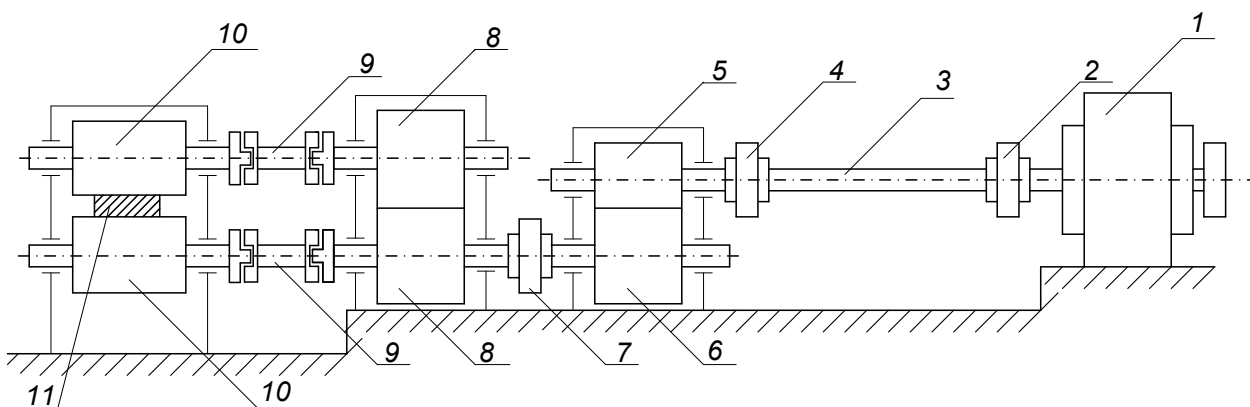


Рисунок 2 – Прокатная клеть с групповым приводом: 1 – электродвигатель; 2,4,7 – муфты; 3 – вал; 5- быстроходная шестерня редуктора; 6 – тихоходная шестерня редуктора; 8 – шестерни шестеренной клетки; 9 – шпиндели; 10 – прокатные валки; 11- слиток

В передаточном механизме прокатной клетки возможно выделить 2 составляющего: длиннющий вал 3 и шпиндели 9, твердость которых меньшая и имеет возможность сделать значительное воздействие на динамические процессы в электроприводе. Податливость других частей кинематической цепи (муфты, шестерни, подшипники скольжения, прокатные валки, составляющие системы) значительна и ей пренебрегают.

Взаимосвязанные процессы деструкции слитка, валков и станины клетки при захвате слитка валками на станет учесть, то есть данный процесс станем осматривать как скачкообразное прибавление этапа перегрузки ( прокатки)  $M_{с.прок.}$



На этапе проектирования системы управления электропривода может понадобиться значение эквивалентного момента инерции

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{м.пр}} = J_{I_{\Sigma}} + J_{2_{\Sigma}} = 5125 + 797,5 = 5922,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Эквивалентные параметры структурной схемы одномассовой механической системы.

Приведенный к валу двигателя момент прокатки

$$M_{\text{н.прив}} = \frac{M_{\text{н}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{227600}{1,83} = 124371,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

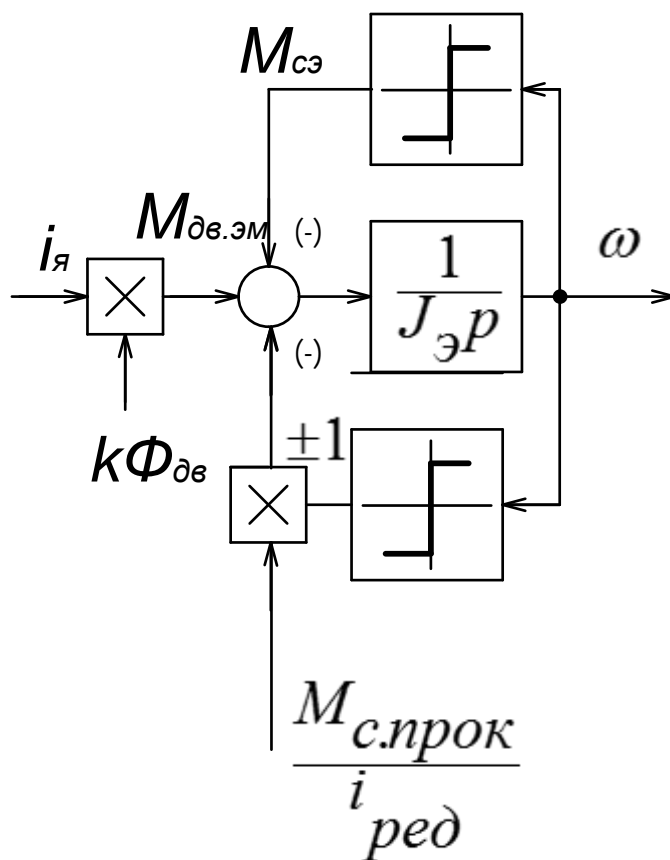


Рисунок 3 – Структурная схема механической системы электропривода прокатной клетки без учета переменных потерь передачи: – одномассовая

## 2 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО КАНАЛА РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1 Выбор силового оборудования

#### 2.1.1 Выбор тиристорного преобразователя для питания двигателя

Выбор тиристорного преобразователя производится из следующих трех условий.

1. Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя должно быть чуть больше или равно номинальному напряжению двигателя

$$U_{дн} \geq U_{дв.н} = 930 \text{ В}.$$

2. Номинальный ток преобразователя должен быть больше или равен номинальному току двигателя

$$I_{дн} \geq I_{дв.н} = 3620 \text{ А}.$$

3. При условии, что продолжительность перегрузки преобразователя равна или больше продолжительности перегрузки двигателя, ток допустимой перегрузки преобразователя должен быть равен или больше тока допустимой перегрузки двигателя

$$I_{дмакс} \geq I_{дв.макс} = 8145 \text{ А}.$$

Выбираем преобразователь типа КТЭ-4000/930-0111 с параметрами:

- номинальное выпрямленное напряжение преобразователя  $U_{дн} = 1050 \text{ В}$ ;

- номинальный ток преобразователя  $I_{дн} = 2 \cdot 2000 = 4000 \text{ А}$ ;

- ток допустимой перегрузки преобразователя

$$I_{дмакс} = 2,25 \cdot 4000 = 9000 \text{ А}.$$

Тиристорный преобразователь выполнен по эквивалентной 12-пульсной схеме выпрямления приведенной на рисунке 4 и представляет собой две трехфазных мостовых схем выпрямления, Включенных параллельно. Питание мостов предполагается осуществлять от вторичных обмоток трансформатора с

разными схемами соединения (треугольник и звезда). Для обеспечения равномерной загрузки мостов током и исключения влияния их друг на друга необходимо применение индуктивных делителей. В качестве последних могут быть использованы сглаживающие реакторы L1 и L2.

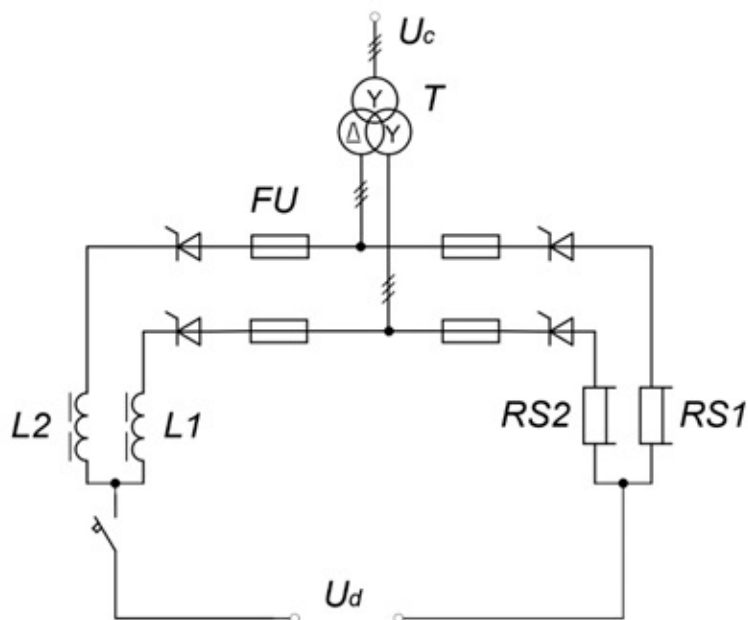


Рисунок 4 – Однолинейная схема силовой части неперевосивного 12-пульсного электропривода

Максимальная выпрямленная ЭДС при угле управления  $\alpha=0$  для эквивалентной 12-пульсной схемы

$$E_{d0(12)} = k_{cx} \cdot U_{2лн} = 1,398 \cdot 900 = 1258,3 \text{ В},$$

$$\text{где } k_{cx} = \frac{\sqrt{2} \cdot m_e}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{m_e}\right) = \frac{\sqrt{2} \cdot 12}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{12}\right) = 1,398$$

– коэффициент схемы;

$m_e = 12$  – число пульсов управляемого выпрямителя или преобразователя.

Индуктивность силовой цепи преобразователя для одной группы вентилей

$$L_{mn} = 2 \cdot L_{mp.\phi} = 2 \cdot 0,066 \cdot 10^{-3} = 0,132 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Полное сопротивление трансформатора

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз} \cdot U_{2фн}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{6,6 \cdot 519,6}{100 \cdot 1633} = 0,021 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{тр.ф} = \frac{P_{кз}}{n \cdot m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{44000}{2 \cdot 3 \cdot 1633^2} = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

где  $m_2 = 3$  – число фаз питающей сети;

$n = 2$  – число вторичных обмоток.

Индуктивное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$X_{тр.ф} = \sqrt{Z_{тр.ф}^2 - R_{тр.ф}^2} = \sqrt{0,021^2 - 0,00275^2} = 0,0208 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{тр.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0,0208}{314} = 0,066 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

### 2.1.3 Выбор сглаживающего реактора

Выбор реактора осуществляется для режима эквивалентной 12-пульсной схемы выпрямления.

Включение сглаживающего реактора в якорную цепь позволяет ограничить величину переменных составляющих. улучшает использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики. Индуктивность сглаживающего реактора выбирается из двух условий: ограничения зоны прерывистого тока и ограничения пульсаций тока на допустимом уровне.

Определяем необходимую величину индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов

$$L_{кв1} = \frac{E_{d0(12)} \cdot k_{гр.макс}}{\omega_c \cdot I_{д.гр.макс}} = \frac{1258,2 \cdot 0,02295}{314 \cdot 350} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

$$\text{где } k_{\text{гр.макс}} = \left(1 - \frac{\pi}{m_e} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m_e}\right) \cdot \sin 90^\circ = \left(1 - \frac{\pi}{12} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{12}\right) \cdot 1 = 0,02295$$

- максимальный граничный коэффициент;

$$\omega_c = 314 \text{ с}^{-1} - \text{угловая частота питающей сети при частоте сети } f_c = 50$$

Гц;

$$I_{d.\text{гр.макс}} \leq I_{\text{дв.х.х}} = \frac{M_{\text{х.х}}}{M_{\text{дв.н}}} \cdot I_{\text{дв.н}} = \frac{10600}{95512,4} \cdot 3620 = 401,75 \text{ A}$$

– значение начально-непрерывистого тока, значение которого может быть найдено из условия. Принимаем  $I_{d.\text{гр.макс}} = 350 \text{ A}$ ;

$I_{\text{дв.х.х}}$  – ток двигателя холостого хода, принимаем, А.

Тогда индуктивность сглаживающего реактора в цепи отдельного выпрямительного моста определится из условия

$$0,5L_{\text{др}} = L_{\text{кн1}} - 0,5L_{\text{тп}} - L_{\text{дв}} = 0,26 \cdot 10^{-3} - 0,066 \cdot 10^{-3} - 0,111 \cdot 10^{-3} = 0,0824 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$L_{\text{др}} = 2 \cdot 0,0824 \cdot 10^{-3} = 0,1648 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Определяем необходимую величину индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения величины пульсаций выпрямленного тока:

$$L_{\text{кн2}} = \frac{E_{d(1)\text{макс}} \cdot 100}{m_e \cdot \omega_c \cdot p(1)\% \cdot I_d} = \frac{149,338 \cdot 100}{12 \cdot 314 \cdot 5 \cdot 3620} = 0,2737 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

$$\text{где } E_{d(1)\text{макс}} = \frac{E_{d0(12)} \cdot m_e \cdot \sqrt{2}}{(m_b^2 - 1)} = \frac{1258,3 \cdot 12 \cdot \sqrt{2}}{(12^2 - 1)} = 149,33 \text{ В}$$

- действующее значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления  $\alpha = 90^\circ$ ;

$p(1)\%$  - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах,  $p(1)\% = (2-7) \%$ , принимаем  $p(1)\% = 4$ .

Тогда индуктивность сглаживающего реактора определится из условия

$$0,5L_{\partial p} = L_{\kappa\pi 2} - 0,5L_{\text{тп}} - L_{\partial\text{в}} = 0,2737 \cdot 10^{-3} - 0,066 \cdot 10^{-3} - 0,111 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,096 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$L_{\partial p} = 2 \cdot 0,096 \cdot 10^{-3} = 0,192 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Учитывая, что рассматриваемая схема параллельного подключения двух мостов только приближенно соответствует 12- пульсной схеме выпрямления, принимаем решение выбрать два сглаживающих реактора по одному для каждой группы вентилях типа СРОЗ, перегрузочная способность которых по току составляет  $\lambda_{\partial p} = 2$  (при большем токе магнитопровод насыщается, и индуктивность реактора уменьшается). Тогда номинальный ток реактора выбирается из условия

$$I_{\partial p, \text{н}} \geq \frac{\lambda_{\partial\text{в}} \cdot I_{\partial\text{в}, \text{н}}}{2 \cdot \lambda_{\partial p}} = \frac{2,25 \cdot 3620}{2 \cdot 2} = 2036,25 \text{ А}$$

Выбираем сглаживающие реакторы типа СРОСЗ – 1250М с параметрами: номинальный ток  $I_{\text{н}, \partial p} = 2500 \text{ А}$ ; индуктивность  $L_{\text{н}, \partial p} = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ ; потери в меди при номинальном токе  $\Delta P_{\partial p} = 2800 \text{ Вт}$ .

Сопротивление сглаживающего реактора

$$R_{\partial p} = \frac{\Delta P_{\partial p}}{I_{\partial p, \text{н}}^2} = \frac{2800}{2500^2} = 0,448 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

## 2.2 Выбор тиристорного возбуждателя двигателя

Для питания обмотки возбуждения двигателя выберем комплектный возбудитель для управления возбуждением двигателя

1. Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя должно быть чуть больше или равно номинальному напряжению возбуждения двигателя

$$U_{\text{дн}} \geq U_{\text{вн}} = 220 \text{ В.}$$

2.Номинальный ток преобразователя должен быть больше или равен номинальному току возбуждения двигателя

$$I_{дн} \geq I_{вн} = 53 \text{ A}.$$

3.При условии, что продолжительность перегрузки преобразователя равна или больше продолжительности перегрузки двигателя, ток допустимой перегрузки преобразователя должен быть равен или больше тока допустимой перегрузки двигателя

$$I_{дмакс} \geq I_{вмакс} = 2,25 \cdot 53 = 119,25 \text{ A}..$$

Выбираем комплектный возбудитель для управления по возбуждению типа КТЭВ-100/230-0011 с параметрами:

- номинальное выпрямленное напряжение преобразователя  $U_{дн} = 230 \text{ В}$ ;
- номинальный ток преобразователя  $I_{дн} = 100 \text{ А}$ .
- ток допустимой перегрузки преобразователя  $I_{дмакс} = 2,25 \cdot 100 = 225 \text{ А}$ .

### 2.2.1 Выбор трансформатора для питания тиристорного возбудителя

Выбор производится по тем же условиям и выбираем трехфазный трансформатор типа ТСЗП -25/0,7. Параметры вентильной обмотки: номинальное линейное напряжение для вторичной обмотки  $U_{2л} = 205 \text{ В}$ ; номинальный линейный ток вторичной обмотки  $I_{2л} = 82 \text{ А}$ . Параметры трансформатора: напряжение сквозного короткого замыкания  $U_{кз} = 5,5 \%$ , потери короткого замыкания  $P_{кз} = 1100 \text{ Вт}$ .

Рассчитаем параметры трансформатора возбудителя. Номинальное фазное напряжение вторичной обмотки

$$U_{2фн} = \frac{U_{2лн}}{\sqrt{3}} = \frac{205}{\sqrt{3}} = 118,357 \text{ В}.$$

Номинальный ток фазы вторичной обмотки

$$I_{2фн} = I_{2лн} = 82 \text{ А}..$$

Полное сопротивление трансформатора

$$Z_{тр.ф} = \frac{U_{кз} \cdot U_{2фн}}{100 \cdot I_{2фн}} = \frac{5,5 \cdot 118,357}{100 \cdot 82} = 0,0794 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$R_{тр.ф} = \frac{P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2фн}^2} = \frac{1100}{3 \cdot 82^2} = 0,0545 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы трансформатора

$$X_{тр.ф} = \sqrt{Z_{тр.ф}^2 - R_{тр.ф}^2} = \sqrt{0,0794^2 - 0,0545^2} = 0,05774 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки фазы трансформатора

$$L_{тр.ф} = \frac{X_{тр.ф}}{\omega_c} = \frac{0,05774}{314} = 0,184 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

### 2.2.2 Параметры обмотки возбуждения двигателя

Сопротивление обмотки возбуждения при рабочей температуре

$$R_{в.гор} = 1,38 \cdot R_{в} = 1,38 \cdot 2,35 = 3,24 \text{ Ом}.$$

Усредненное значение индуктивности основного потока на рабочем участке

$$L_{\sigma} = 2p \cdot W_{\sigma} \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_{\sigma}} = 14 \cdot 201 \cdot \frac{0,043}{34} = 3,56 \text{ Гн},$$

$$\text{где } \Delta\Phi = \Phi_n - \Phi_{мин} = 0,115 - 0,075 = 0,043 \text{ Вб}$$

- разность номинального и минимального значения потока возбуждения;

$$\Delta I_{\sigma} = I_{в.н} - I_{в.мин} = 53 - 19 = 34 \text{ А}$$

- разность номинального и минимального значения тока возбуждения;

$I_{в.мин} = 19 \text{ А}$  – минимальный ток возбуждения определяется по кривой намагничивания двигателя.

Индуктивность потока рассеяния



$$L_s = 2p \cdot W_{\sigma} \frac{\Phi_n \cdot (\sigma - 1)}{I_{\sigma, n}} = 14 \cdot 201 \cdot \frac{0,115 \cdot (1,18 - 1)}{53} = 1,1 \text{ Гн}.$$

### 2.2.3 Параметры тиристорного возбудителя

Активное сопротивление силовой цепи преобразователя возбудителя

$$R_{mтв} = 2 \cdot R_{тp.ф} + R_{\kappa} = 2 \cdot 0,0545 + 0,055 = 0,164 \text{ Ом},$$

$$\text{где } R_{\kappa} = \frac{m_{\sigma} \cdot X_{тp.ф}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,05774}{2 \cdot \pi} = 0,055 \text{ Ом}$$

- сопротивление, вносимое за счёт коммутации анодных токов.

Индуктивность силовой цепи преобразователя возбудителя

$$L_{mтв} = 2 \cdot L_{тp.ф.} = 2 \cdot 0,184 \cdot 10^{-3} = 0,368 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Коэффициент усиления преобразователя

$$k_{mтв} = k_{cy.mтв} \cdot k_{yв} = 10 \cdot 4,83 = 48,3,$$

где  $k_{cy.mтв} = 10 \text{ } \frac{\text{град}}{B}$  - коэффициент передачи СИФУ с линейным опорным напряжением;

$$k_{yв} = \frac{\pi \cdot E_{d0}}{180} = \frac{\pi \cdot 276,86}{180} = 4,83 \text{ } \frac{B}{\text{град}}$$

- коэффициент передачи управляемого выпрямителя.

$$E_{d0} = \frac{U_{2ф}}{\sqrt{3} \cdot k_{u2}} = \frac{205}{\sqrt{3} \cdot 0,428} = 276,86 \text{ В}$$

- максимальная выпрямленная ЭДС при угле управления  $\alpha=0$ ;

$k_{u2}=0,428$  – коэффициент схемы выпрямления по напряжению.

Постоянная времени преобразователя

$$T_{mтв} = \frac{0,5}{m_{\sigma} \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с}.$$

### 2.2.4 Параметры силовой цепи обмотки возбуждения

Сопротивление цепи обмотки возбуждения

$$R_{цв} = R_{мпв} + R_{в.гор} = 0,164 + 3,24 = 3,404 \text{ Ом}.$$

Постоянная времени основного потока

$$T_v = \frac{L_v}{R_{цв}} = \frac{3,56}{3,404} = 1,05 \text{ с}.$$

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_s = \frac{L_{мпв} + L_s}{R_{цв}} = \frac{0,368 \cdot 10^{-3} + 1,1}{3,404} = 0,323 \text{ с}.$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_k = 0,1 \cdot T_v = 0,1 \cdot 1,05 = 0,105 \text{ с}.$$

Значение минимального угла управления преобразователем возбуждения

$$\alpha_{\min} \leq \arccos \frac{I_{в.н} \cdot R_{цв}}{k_{Ус.мин} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{53 \cdot 3,404}{0,85 \cdot 276,86} = 39,95^\circ$$

Принимаем  $\alpha_{\min} = 30^\circ$ .

## 2.3 Расчет параметров силовой цепи

### 2.3.1 Параметры тиристорного преобразователя якорной цепи

Исходная схема замещения (рисунок 8) состоит из двух непереворачиваемых тиристорных преобразователей (ТП), включенных параллельно, с индивидуальными регуляторами тока. Параметры управляемого выпрямителя (одного моста):

-сопротивление

$$R_{ув} = 2 \cdot R_{мп.ф} + R_k = 2 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} + 0,0198 = 0,0253 \text{ Ом},$$

$$\text{где } R_k = \frac{m_v \cdot X_{мп.ф}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,0208}{2 \cdot \pi} = 0,0198 \text{ Ом}$$

-сопротивление, вносимое коммутацией токов вентиляй;

-индуктивность

$$L_{yв} = 2 \cdot L_{mp.ф} = 2 \cdot 0,066 \cdot 10^{-3} = 0,132 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

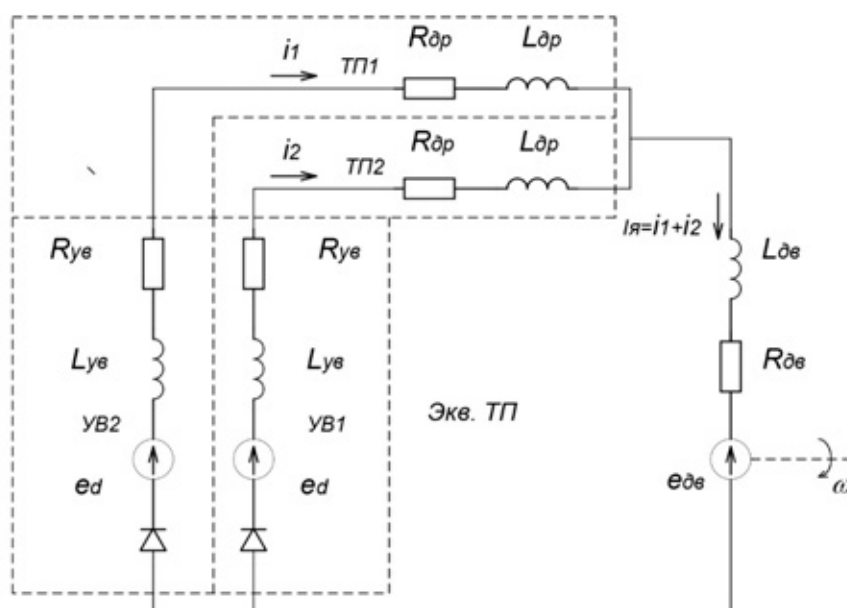


Рисунок 5 – Схема замещения для параллельно-включенных ТП, работающих на общий двигатель

### 2.3.2 Параметры схемы “ ТП - эквивалентный двигатель”

Преобразуем исходную схему в две схемы “ ТП - эквивалентный двигатель” (рисунок 5).

Схема “ ТП - эквивалентный двигатель” будет использована при расчете электромеханических характеристик электропривода и при оптимизации контуров тока.

Сопротивление и индуктивность ТП:

$$R_{mn} = R_{yв} + R_{дp} = 0,0253 + 0,448 \cdot 10^{-3} = 0,02575 \text{ Ом};$$

$$L_{mn} = L_{yв} + L_{дp} = 0,132 \cdot 10^{-3} + 0,32 \cdot 10^{-3} = 0,452 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

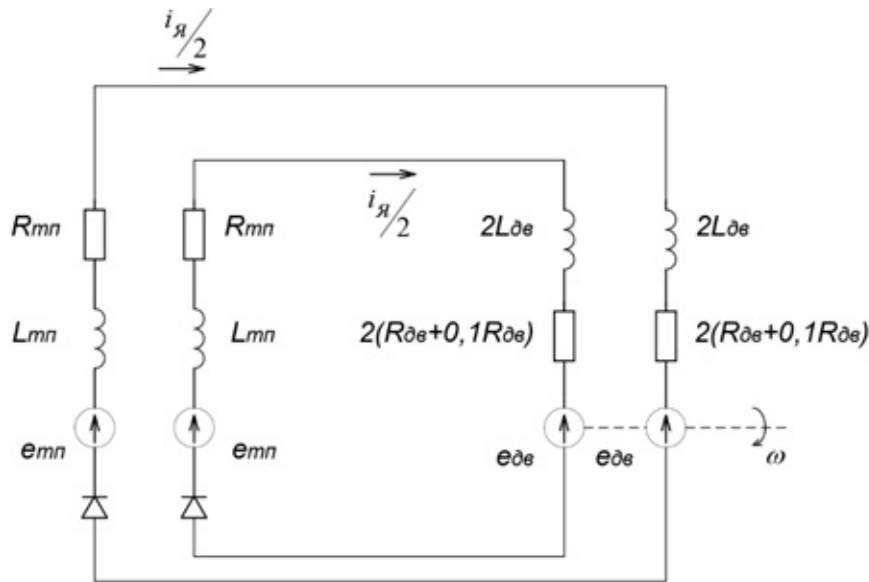


Рисунок 6 – Схема замещения: две системы “ТП - эквивалентный двигатель”

Сопротивление и индуктивность якорной цепи:

$$R_{яц} = R_{mn} + 2 \cdot (R_{\delta в} + 0,1 R_{\delta в}) = 0,02575 + 2 \cdot (0,00915 + 0,1 \cdot 0,00915) = 0,046 \text{ Ом};$$

$$L_{яц} = L_{mn} + 2 \cdot L_{\delta в} = 0,452 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} = 0,674 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Постоянная времени преобразователя

$$T_{тия} = \frac{0,5}{m_e \cdot f_c} = \frac{0,5}{12 \cdot 50} = 0,000833 \text{ с}.$$

Постоянная времени якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0,674 \cdot 10^{-3}}{0,046} = 0,0146 \text{ с}.$$

Электромеханическая постоянная времени

$$T_m = \frac{J_{\gamma} \cdot R_{яц}}{c^2} = \frac{5922,5 \cdot 0,023}{27,19^2} = 0,1843 \text{ с}.$$

Определим отношение

$$\frac{T_m}{T_{яц}} = \frac{0,1843}{0,0146} = 12,62,$$

полученное значение говорит о слабом влиянии электромеханических процессов на электромагнитные.

### 2.3.3 Расчет параметров тиристорного преобразователя якоря для схемы “ТП - эквивалентных двигателя”

Средневыпрямленная ЭДС преобразователя при угле управления  $\alpha=0^\circ$

$$E_{d0} = k_{U2\lambda} \cdot U_{2\lambda n} = 1,351 \cdot 900 = 1215,9 \text{ В}.$$

Коэффициент усиления преобразователя

$$k_{mня} = k_{cy.mn} \cdot k_{ув} = 10 \cdot 21,95 = 197,55,$$

$$\text{где } k_{cy.mn} \geq \frac{\Delta\alpha}{U_{уп.макс}} = \frac{90}{10} = 9 \text{ град}/\text{В}$$

- коэффициент передачи СИФУ с линейным опорным напряжением;

$\Delta\alpha = 90^\circ$  - диапазон изменения угла управления в выпрямительном режиме;

$U_{уп.макс} = 10 \text{ В}$  – максимальное напряжение управления;

$$k_{ув} = \frac{\pi \cdot E_{d0(12)}}{180} = \frac{\pi \cdot 1258,3}{180} = 21,95 \text{ В}/\text{град}$$

- коэффициент передачи управляемого выпрямителя.

Коэффициент передачи ячейки согласования на входе СИФУ

$$k_{yo} = 2U_{оп.макс} \cdot \frac{\Delta\alpha}{180 \cdot U_{уп.макс}} = 8 \cdot \frac{90}{180 \cdot 10} = 0,4,$$

где  $2U_{оп.макс} = 8 \text{ В}$  – максимальное размах опорного напряжения на входе преобразователя.

Для расчета области существования электромеханических характеристик разомкнутой системы электропривода преобразуем исходную схему в схему “эквивалентный ТП - двигатель”. Определим параметры этой схемы.

Активное сопротивление эквивалентного тиристорного преобразователя

$$R_{mn} = \frac{R_{mn}}{2} + R_{дв} + 0,1 \cdot R_{дв} = \frac{0,02575}{2} + 0,00915 + 0,1 \cdot 0,00915 = 0,02294 \text{ Ом}.$$

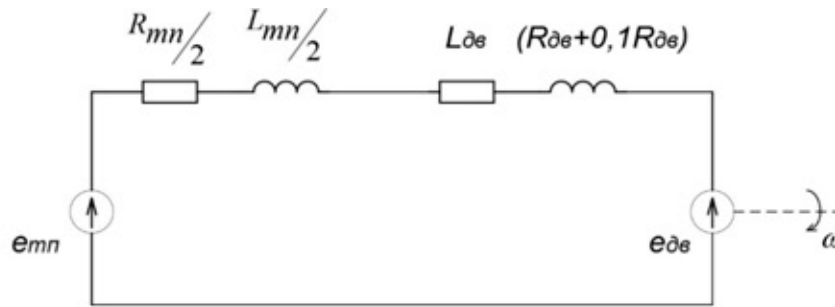


Рисунок 7 – Схема замещения “эквивалентный ТП - двигатель”

Индуктивность эквивалентного тиристорного преобразователя

$$L_{mn} = \frac{L_{mn}}{2} + L_{dv} = \frac{0,452 \cdot 10^{-3}}{2} + 0,111 \cdot 10^{-3} = 0,337 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Средневыпрямленная ЭДС при угле управления  $\alpha=0^\circ$

$$E_{d0(12)} = k_{cx} \cdot U_{2ли} = 1,398 \cdot 900 = 1258,3 \text{ В}.$$

Сопротивление и индуктивность якорной цепи:

$$R_{яц} = \frac{R_{mn}}{2} + R_{dv,cor} + 0,1 \cdot R_{dv,cor} = \frac{0,02575}{2} + 0,00915 + 0,1 \cdot 0,00915 = 0,02294 \text{ Ом};$$

$$L_{яц} = \frac{L_{mn}}{2} + L_{dv} = \frac{0,452 \cdot 10^{-3}}{2} + 0,111 \cdot 10^{-3} = 0,337 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

## 2.4 Область работы и предельные характеристики схемы “ТП - эквивалентный двигатель”

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода(замкнутой системы), ограничиваемая значением  $\omega_{эл.макс} = 52,36 \text{ рад/с}$  и  $I_{эл.макс} = 8145 \text{ А}$ , должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь – двигатель. Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. Поэтому такой подход может быть рекомендован только при проектировании электроприводов, от которых требуется реализация предельных динамических возможностей исполнительных двигателей. В остальных случаях возможно баз

значительного снижения быстродействия облегчить требования к запасу по напряжению и мощности. Однако и в этом случае должны быть выполнены следующие условия: при пониженном напряжении и работе преобразователя в выпрямленном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами  $\omega = \omega_{\text{дв.н}} = 32,98 \text{ с}^{-1}$  и  $I = I_{\text{дв.н}} = 3620 \text{ А}$ , а при реверсировании, должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя.

Построим заданную область существования электромеханических характеристик электропривода, ограниченную значениями  $\omega_{\text{эл.макс}} = \omega_{\text{дв.макс}} = 52,36 \text{ с}^{-1}$  и  $I_{\text{эл.макс}} = I_{\text{дв.макс}} = 8145 \text{ А}$ .

Значение минимального угла управления преобразователем

$$\alpha_{\text{мин}} \leq \arccos \frac{k \cdot \Phi_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{дв.н}} + I_{\text{дв.н}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{Усмин}} \cdot E_{\text{д0(12)}}} = \arccos \frac{236 \cdot 0,115 \cdot 32,97 + 3620 \cdot 0,023}{0,9 \cdot 1258,3} = 30,2^\circ.$$

Принимаем  $\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ$ .

Рассчитаем и построим предельные электромеханические характеристики привода при минимальном угле управления при двух значениях напряжения сети ( $k_{\text{Ус}} = 0,9$  и  $k_{\text{Ус}} = 1,0$ ) и двух значениях потока возбуждения двигателя ( $\Phi_{\text{н}} = 0,115 \text{ Вб}$  и  $\Phi_{\text{мин}} = 0,072 \text{ Вб}$ ). Расчетное выражение электромеханической характеристики имеет вид

$$\begin{aligned} \omega_{\text{дв}} &= \frac{1}{k \cdot \Phi} \cdot (k_{\text{Ус}} \cdot E_{\text{д0(12)}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - I_{\text{дв}} \cdot R_{\text{яц}}) = \\ &= \frac{1}{236 \cdot \Phi} \cdot (k_{\text{Ус}} \cdot 1258,3 \cdot 0,866 - I_{\text{дв.н}} \cdot 0,02297) . \end{aligned}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 2. По данным таблицы построены характеристики, из которых видно, что разомкнутая система привода обеспечивает требуемую область работы прокатной клетки

Таблица 2. – Расчетные данные электромеханических характеристик

$\Phi_{дв}, Вб$	0,115		0,072	
$k_{Uc}$	0,9	1,0	0,9	1,0
$I_{дв}, A$	$\omega_{дв}, рад/с$			
0	36,132	40,147	57,68	64,09
$I_{дв.н} = 3620$	33,07	37,08	53,8	59,2
$I_{дв.макс} = 8145$	29,23	33,25	46,7	53,1

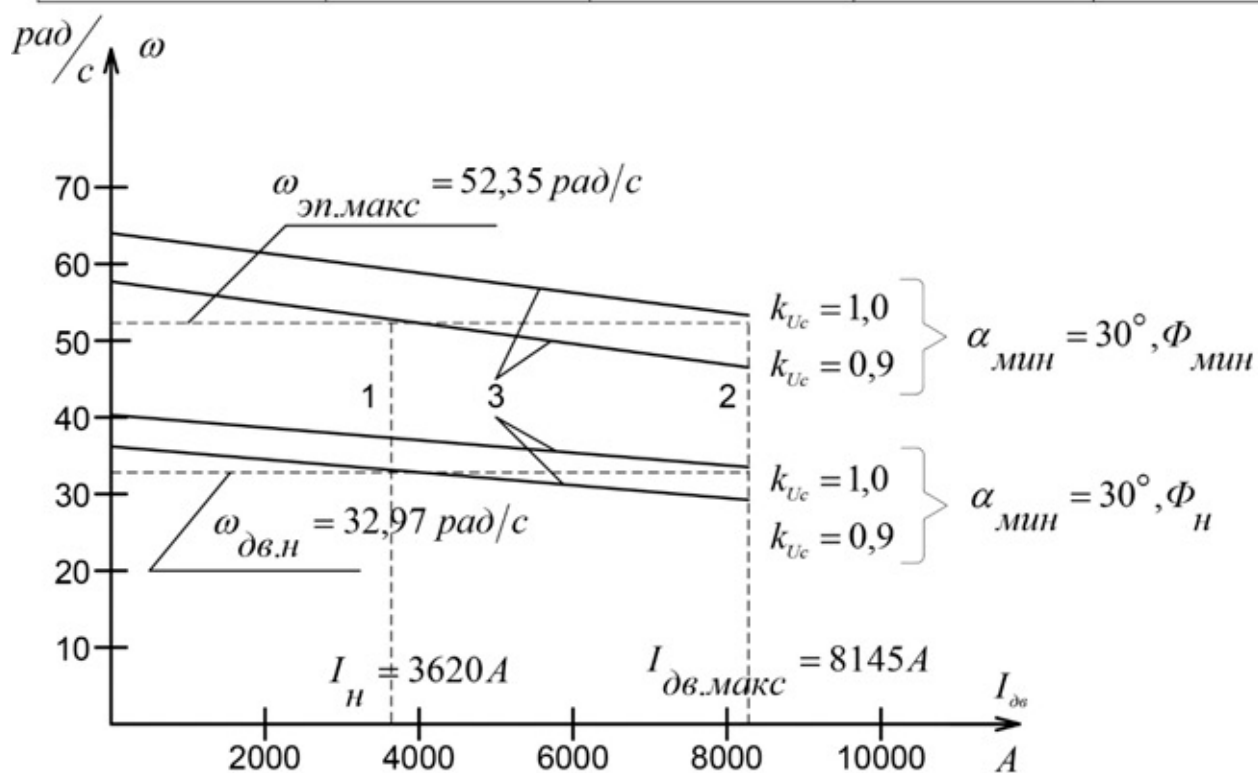


Рисунок 8 - Предельные характеристики привода: 1- границная характеристика области длительной работы; 2- границная характеристика области кратковременной работы; 3- электромеханические характеристики разомкнутого привода при  $\alpha_{мин} = 30^\circ$



## 2.5 Электромеханические характеристики системы преобразователь - двигатель

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{ял} - \Delta U_e}{c},$$

где:  $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$  – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

$\alpha$  – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

$\Delta U_e$  – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left( \frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{ял} + \Delta U_e}{E_{d0}} \right).$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{ял} - \Delta U_e}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол  $\alpha$ . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени

мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла  $\alpha$  и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left( \alpha(\omega) + \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_e} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления  $\alpha$  в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left((\theta_0(\alpha) - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left((\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\frac{\lambda \cdot \pi}{180} \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\frac{\lambda \cdot \pi}{180} \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол  $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_e} = 60$  град – угол проводимости тиристорov;

угол  $\theta$  – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности  $L_{яц}$ . Угол  $\theta$  найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_e}{2 \cdot \pi} \left( \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{cp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах  $\omega = f(I)$  по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_o}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{нл}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристорov  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 9:

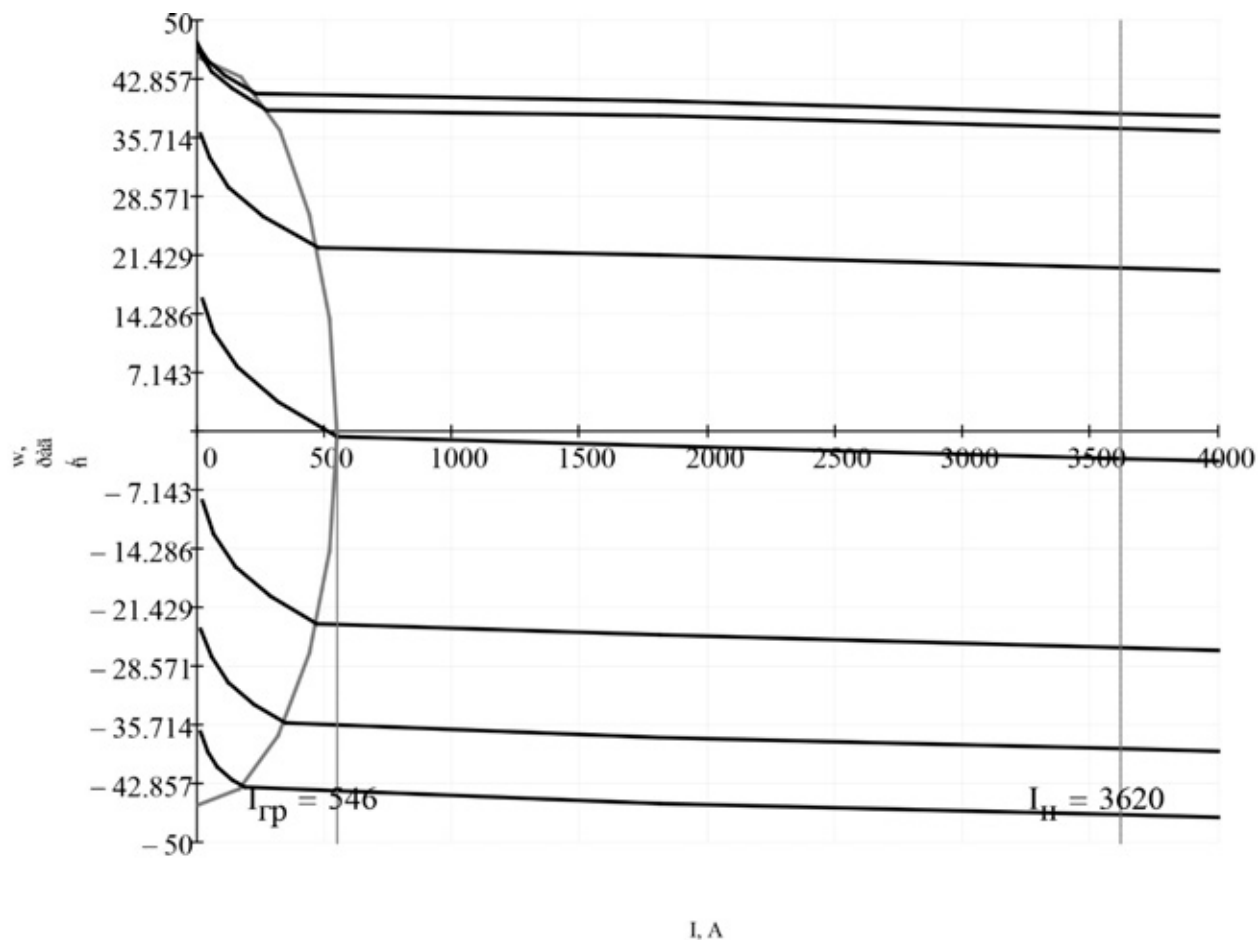


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с отдельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол  $\lambda = 60$  град и меняя угол управления  $\alpha$ .

Как видно из графиков рисунка 13 отношение  $\frac{I_{дгр\max}}{I_{дн}} = \frac{546}{3620} = 0,15$ , что является приемлемым.

## 2.6 Структурная схема силового канала

Как ранее говорилось оптимизацию контуров и дальнейшее моделирование ведем по схеме «ТП – эквивалентный двигатель» приведенной на рисунке. Расчет параметров силовой цепи для этой схемы приведен в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры схемы «ТП – эквивалентный двигатель»

Наименование параметров	Расчетная формула, обозначение	Данные
1	2	3
Сопротивление управляемого выпрямителя, Ом	$R_{yв} = 2 \cdot R_{тр.ф} + R_{\kappa}$	0,0253
Индуктивность управляемого выпрямителя, Гн	$L_{yв} = 2 \cdot L_{тр.ф}$	$0,132 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление силовой цепи, Ом	$R_{mn} = R_{yв} + R_{\partial p}$	0,02575
Индуктивность силовой цепи преобразователя, Гн	$L_{mn} = L_{yв} + L_{\partial p}$	$0,452 \cdot 10^{-3}$
Сопротивление якорной цепи, Ом	$R_{яц} = R_{mn} + 2 \cdot (R_{\partial в} + 0,1 \cdot R_{\partial в})$	0,04588
Индуктивность якорной цепи, Гн	$L_{яц} = L_{mn} + 2 \cdot L_{\partial в}$	$0,674 \cdot 10^{-3}$
Постоянная времени якорной цепи, с	$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}}$	0,0147
Максимальный ток двигателя, А	$I_{\max 1} = \frac{I_{\partial в \max}}{2}$	4072,5
Средневыпрямленное ЭДС, В	$E_{d0} = 1,35 \cdot U_{2л}$	1215
Момент инерции эквивалентный, половинный, кг·м <sup>2</sup>	$J_{\partial 1} = \frac{J_{\partial}}{2}$	2961,25

Продолжение таблицы 3.

1	2	3
Момент прокатки для эквивалентного двигателя, $H \cdot м$	$M_{п.прив} = \frac{M_{п.прив}}{2}$	62185,8
Число фаз выпрямителя	$m_в$	6
Коэффициент усиления тиристорного преобразователя	$k_{тия}$	197,55
Постоянная времени преобразователя, $с$	$T_{тия}$	0,00167

Структурная схема силового канала электропривода приведена на рисунке 10. Особенностью силовой схемы является параллельное включение двух выпрямительных тиристорных мостов.

Для измерения скорости вращения двигателя используется тахогенератор ПТ-32 с параметрами: номинальная скорость вращения тахогенератора  $n_{тг.ном} = 600$  об/мин; Номинальное напряжение  $U_{тг.ном} = 230$  В; номинальное напряжение возбуждения  $U_{втг.ном} = 55$  В [1,с.147], и типовые ячейки датчика напряжения с делителем.

Коэффициент передачи датчика скорости

$$k_{дс} = \frac{U_{дс.макс}}{\omega_{тг.ном}} = \frac{10}{62,83} = 0,15916 \frac{В \cdot с}{рад},$$

где  $U_{дс.макс} = 10$  В – максимальное напряжение датчика скорости;

$$\omega_{тг.ном} = \frac{\pi \cdot n_{тг.ном}}{30} = \frac{\pi \cdot 600}{30} = 62,83 \frac{рад}{с}$$

-номинальная угловая частота вращения тахогенератора.

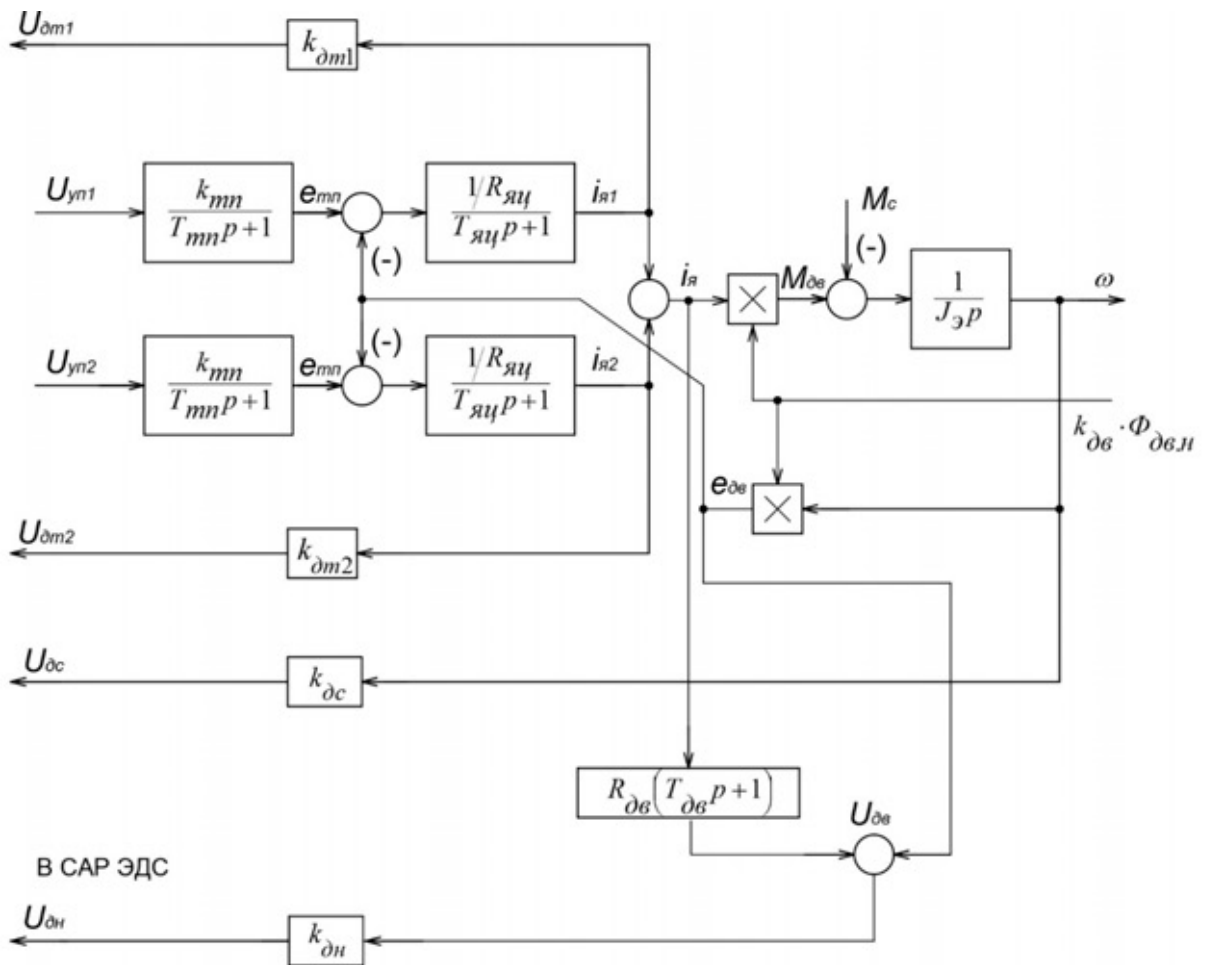


Рисунок 10 – Структурная схема силовой части электропривода для одного тиристорного преобразователя

Для измерения тока каждой группы вентилях используем шунт (номинальный ток  $I_{ш.ном} = 5000 \text{ A}$ , номинальное напряжение  $U_{ш.ном} = 0,075 \text{ B}$ ) и типовую ячейку датчика тока.

Коэффициент передачи датчика тока с учетом коэффициента усиления усилителя

$$k_{дт} = \frac{U_{дт.макс}}{I_{ш.ном}} = \frac{10}{5000} = 0,002 \text{ B/A},$$

где  $U_{дт.макс} = 10 \text{ B}$  – номинальное напряжение датчика тока.

## 2.7 Линеаризованная САУ РЭП

### 2.7.1 Структурная схема линеаризованной САУ ЭП

Структурная схема линеаризованной САУ скорости двигателя В первой зоне регулирования при номинальном потоке возбуждения двигателя приведена на рисунке 11. Особенностью схемы является два контура тока по числу параллельно включенных тиристорных мостов.

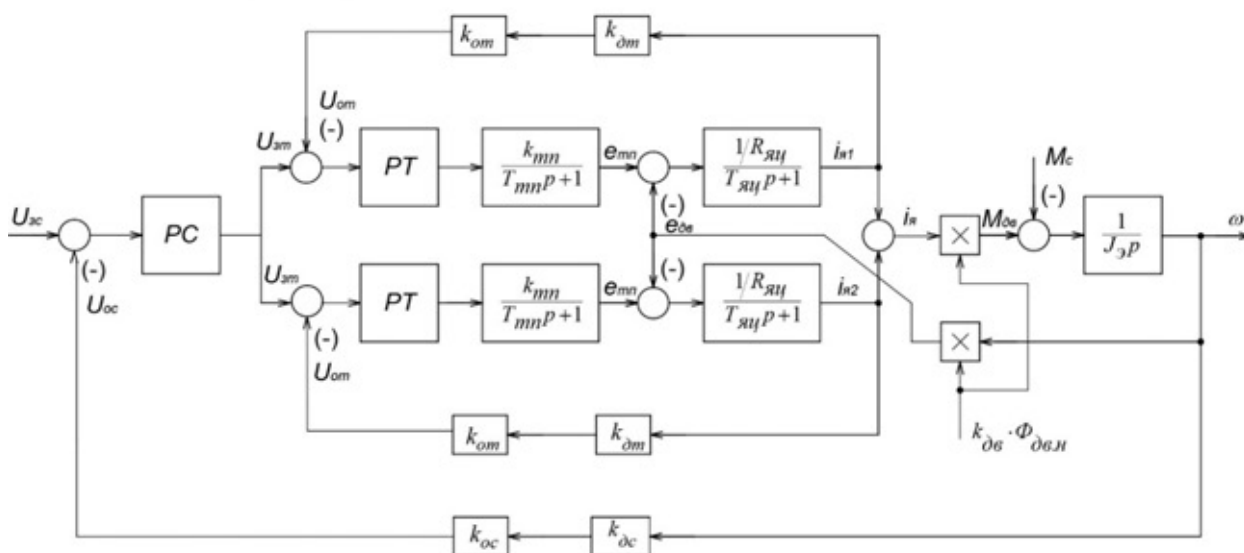


Рисунок 11 -Структурная схема линеаризованной САУ скорости двигателя

### 2.7.2 Оптимизация контура тока якоря

Прежде всего настройка контура тока производится для отдельной группы вентилях. Тип регулятора и метод оптимизации контура выбираются в зависимости от соотношения  $\frac{T_{ящ}}{4 \cdot T_{\mu}}$ , таблица 4.

Таблица 4 - Тип регулятора и метод оптимизации контура



$\frac{T_{яц}}{4 \cdot T_{\mu}}$	Тип регулятора	Метод оптимизации
$\leq 1$	ПИ	МО [CO]
$\geq 1$	ПИ	CO [MO]
$\gg 1$	П [ПИ]	МО [CO]

Контур тока настраивается на технический (модульный) оптимум (МО). Выбираем пропорционально - интегральный регулятор тока (ПИ – PT) и коэффициент оптимизации  $a_m = 2$ .

Установка дополнительных сглаживающих фильтров в контуре тока и в цепи обратной связи весьма неблагоприятно сказывается на характере процессов в контуре (приводит к снижению быстродействия как контура тока, так и электропривода в целом), поэтому установка дополнительных фильтров в контуре тока может определяться только необходимостью снижения уровня помех, и должна быть отнесена к этапу ввода электропривода в эксплуатацию.

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 12. Контур тока содержит две инерционности первого порядка в прямом канале с малой постоянной времени контура  $T_{\mu m} = T_{mn}$  и большой постоянной  $T_{яц}$ , которая должна быть компенсирована.

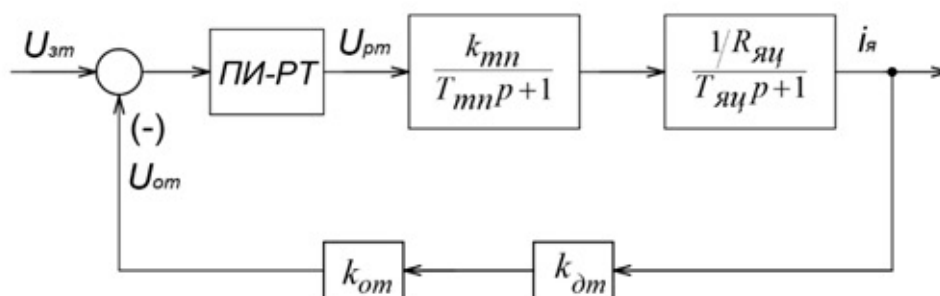


Рисунок 12 - Структурная схема контура тока

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W_{pm}(p) = k_{pm} \frac{T_{pm} \cdot p + 1}{T_{pm} \cdot p},$$

где  $T_{pm} = T_{яц} = 0,0147$  с

– постоянная времени регулятора тока;

$$k_{pm} = \frac{R_{яц} T_{яц}}{k_{mn} k_m a_m T_{\mu m}} = \frac{0,04588 \cdot 0,0147}{197,55 \cdot 0,00246 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,4155$$

– коэффициент усиления регулятора тока;

$T_{\mu m} = T_{mn} = 0,00167$  с – малая постоянная времени контура тока;

$$k_m = \frac{U_{\text{эт. макс}}}{I_{\text{эт. макс}}} = \frac{10}{4072,5} = 0,00246 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току;

$U_{\text{эт. макс}} = 10$  В – максимальное напряжение задания контура тока;

$I_{\text{эт. макс}} = 4072,5$  А – максимальное значение тока для одной группы.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора тока

$$k_{om} = \frac{k_m}{k_{\partial m}} = \frac{0,00246}{0,002} = 1,23.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W_{pm, \text{раз}}(p) = \frac{1}{a_m \cdot T_{\mu m} \cdot p \cdot (T_{\mu m} p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00167 \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{5,5778 \cdot 10^{-6} p^2 + 0,00334 p}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W_{pm, \text{зам}}(p) = \frac{1/k_m}{a_m \cdot T_{\mu m} \cdot p \cdot (T_{\mu m} p + 1) + 1} = \frac{1/0,00246}{2 \cdot 0,00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00167 \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{406,5}{5,5778 \cdot 10^{-6} p^2 + 0,00334 p + 1}.$$

Оценить пригодность привода с заданными характеристиками для целей автоматизации технологического процесса позволит построение логарифмические частотные характеристик (ЛЧХ) оптимизированных контуров системы по управлению и по возмущению. Следует подчеркнуть, что внутреннюю обратную связь по ЭДС двигателя при выведении передаточных функций не учитывали из-за малого ее влияния. ЛЧХ замкнутого контура тока рассчитана с помощью программы Матлаб и приведена на рисунке 13.

Ожидаемые показатели качества работы замкнутого контура тока:

- установившаяся ошибка  $\Delta I_{уст} = 0$ ;
- перерегулирование  $\sigma = 4,3 \%$ ;
- время первого согласования  $t_{py1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847c$ ;
- время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия  $t_{py2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 0,006847c$ ;
- полоса пропускания по модулю и фазе

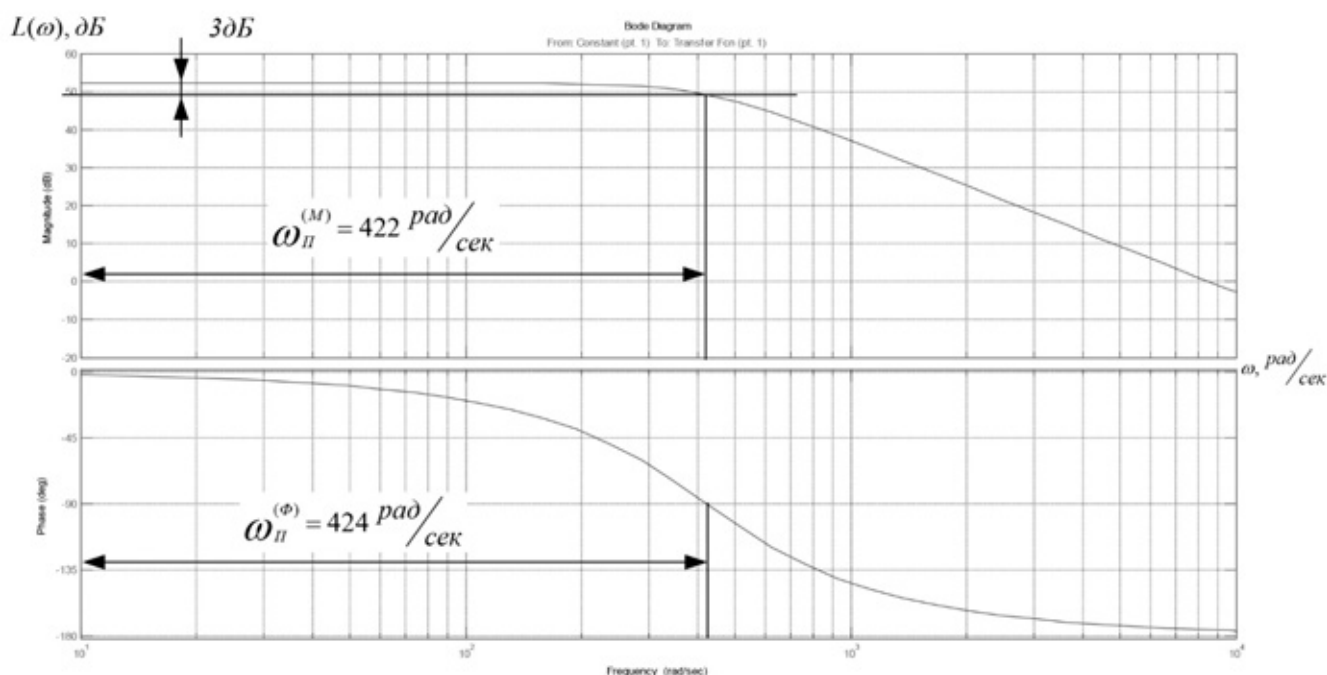


Рисунок 13 – ЛЧХ замкнутого контура тока

$$\omega_n^{(M)} = \omega_n^{(\phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu m}} = \frac{0,71}{0,00167} = 425,15 \text{ рад/с}$$

или

$$f_n^{(M)} = f_n^{(\phi)} = \frac{\omega_n^{(\phi)}}{2\pi} = \frac{425,15}{2\pi} = 67,67 \text{ Гц}.$$

По ЛЧХ замкнутого контура тока находим значение частоты пропускания контура

$$\omega_i^{(i)} = \omega_i^{(\delta)} = 10^{2,625} = 422 \text{ рад/с}$$

или

$$f_i^{(i)} = f_i^{(\delta)} = \frac{\omega_i^{(\delta)}}{2\pi} = \frac{422}{2\pi} = 67,163 \text{ Гц}.$$

### 2.7.3 Оптимизация контура скорости двигателя

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 14.



Рисунок 14 - Структурная схема контура скорости

Контур оптимизируем по МО. Так как в прямом канале контура скорости имеется интегрирующее звено, то для его оптимизации по МО выбираем пропорциональный регулятор (П-РС) с передаточной функцией

$$W_{pc}(p) = k_{pc},$$

$$\text{где } k_{pc} = \frac{J_{\text{эл}} \cdot k_m}{c \cdot k_c \cdot a_c \cdot a_m \cdot T_{\mu m}} = \frac{2961,25 \cdot 0,00246}{27,19 \cdot 0,191 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 210,$$

– коэффициент усиления регулятора скорости;

$$k_c = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{эт.макс}} = \frac{10}{52,36} = 0,191 B \cdot c$$

- коэффициент обратной связи по скорости;

$U_{зс.макс} = 10$  – максимальное напряжение задания скорости, В;

$a_c = 2$  – коэффициент оптимизации контура скорости.

Коэффициент передачи входной цепи регулятора скорости

$$k_{oc} = \frac{k_c}{k_{\partial c}} = \frac{0,191}{0,15916} = 1,2.$$

Малая постоянная времени контура скорости

$$T_{\mu c} = a_m \cdot T_{mn} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 c.$$

Передаточная функция разомкнутого контура скорости

$$\begin{aligned} W_{рс.раз}(p) &= \frac{1}{8T_{\muт}^3 p^3 + 8T_{\muт}^2 p^2 + 4T_{\muт} p} = \\ &= \frac{1}{8 \cdot 0,00167^3 p^3 + 8 \cdot 0,00167^2 p^2 + 4 \cdot 0,00167 p} = \\ &= \frac{1}{3,726 \cdot 10^{-8} p^3 + 2,231 \cdot 10^{-5} p^2 + 0,00668 p} \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости

$$\begin{aligned} W_{рс.зам}(p) &= \frac{1/k_c}{8T_{\muт}^3 p^3 + 8T_{\muт}^2 p^2 + 4T_{\muт} p + 1} = \\ &= \frac{1/0,191}{8 \cdot 0,00167^3 p^3 + 8 \cdot 0,00167^2 p^2 + 4 \cdot 0,00167 p + 1} = \\ &= \frac{5,236}{3,726 \cdot 10^{-8} p^3 + 2,231 \cdot 10^{-5} p^2 + 0,00668 p + 1} \end{aligned}$$

ЛЧХ замкнутого контура скорости рассчитана с помощью программы Матлаб и приведена на рисунке 15.

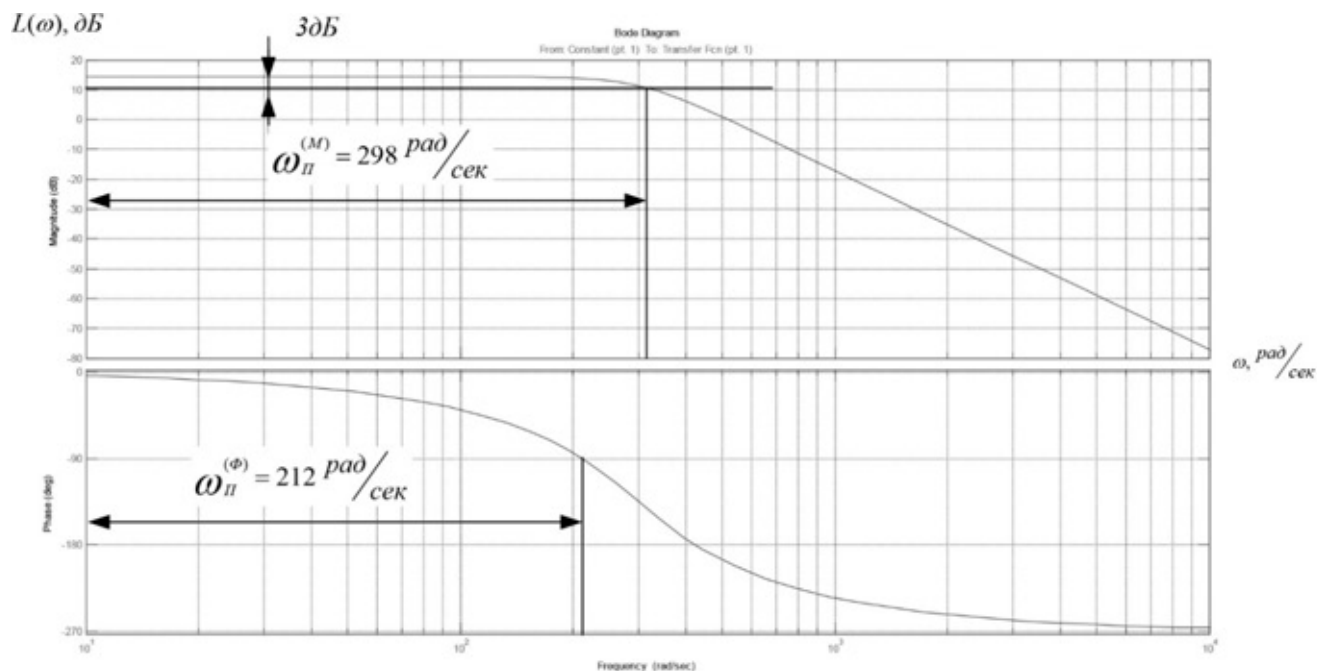


Рисунок 15 – ЛЧХ замкнутого контура скорости

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости:

- установившаяся ошибка  $\Delta\omega_{уст} = 0$ ;
- перерегулирование  $\sigma = 8,1 \%$ ;
- время первого согласования  $t_{py1}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu m} = 7 \cdot 0,00167 = 0,01169 \text{ c}$ ;
- время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего воздействия  $t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu m} = 12 \cdot 0,00167 = 0,02004 \text{ c}$ ;

- полоса пропускания по модулю

$$\omega_n^{(M)} = \frac{0,5}{T_{\mu m}} = \frac{0,5}{0,00167} = 299,4 \text{ rad/c}$$

или

$$f_n^{(M)} = \frac{\omega_n^{(M)}}{2\pi} = \frac{299,4}{2\pi} = 47,65 \text{ Гц};$$

- полоса пропускания по фазе

$$\omega_n^{(\Phi)} = \frac{0,35}{T_{\mu m}} = \frac{0,35}{0,00167} = 209,58 \text{ rad/c}$$

или

$$f_n^{(\phi)} = \frac{\omega_n^{(\phi)}}{2\pi} = \frac{209,58}{2\pi} = 33,36 \text{ Гц} .$$

По ЛЧХ замкнутого контура тока находим значение частоты пропускания контура

- по модулю  $\omega_i^{(i)} = 10^{2,474} = 298 \frac{\delta \dot{a} \ddot{a}}{\ddot{n}}$  или

$$f_i^{(i)} = \frac{\omega_i^{(i)}}{2\pi} = \frac{298}{2\pi} = 47,43 \text{ } \ddot{A} \ddot{o} ;$$

- по фазе  $\omega_i^{(\phi)} = 10^{2,326} = 212 \frac{\delta \dot{a} \ddot{a}}{\ddot{n}}$  или

$$f_i^{(\phi)} = \frac{\omega_i^{(\phi)}}{2\pi} = \frac{212}{2\pi} = 33,74 \text{ } \ddot{A} \ddot{o} .$$

#### 2.7.4 Контур скорости возмущающих воздействий

Структурная схема линейризованного контура скорости, настроенного на МО, при отработке возмущающего воздействия приведена на рисунке 16.

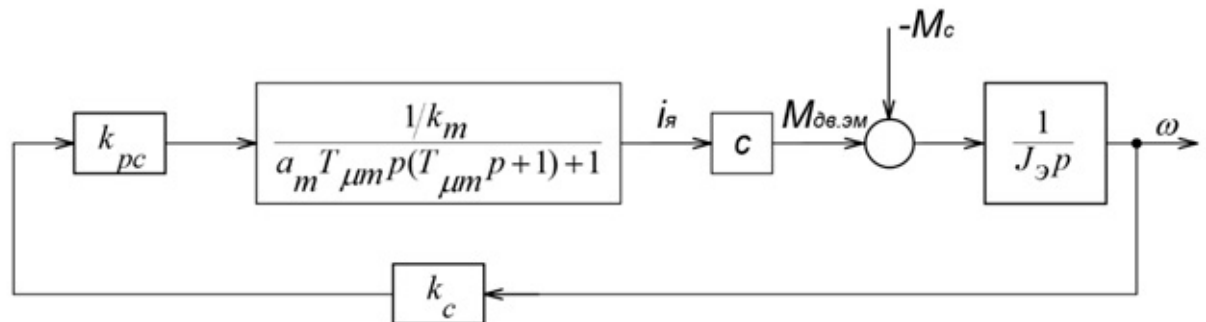


Рисунок 16. - Структурная схема линейризованного контура скорости, настроенного на МО, при отработке возмущающего воздействия

Передаточная функция замкнутого контура скорости по возмущению

$$W_{\text{ГОЗМ.ЗДМ}}(p) = \frac{\frac{a_c \cdot a_m \cdot T_{\mu m}}{J_{\text{эл}}} \cdot [a_m \cdot T_{\mu m} p \cdot (T_{\mu m} p + 1) + 1]}{a_c \cdot a_m \cdot T_{\mu m} p \cdot [a_m \cdot T_{\mu m} p \cdot (T_{\mu m} p + 1) + 1] + 1} =$$

$$= \frac{\frac{2 \cdot 2 \cdot 0,00167}{2961,25} \cdot [2 \cdot 0,00167^2 p^2 + 2 \cdot 0,00167 p + 1]}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,00167^3 p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 0,00167^2 p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,00167 p + 1} =$$

$$= \frac{1,258 \cdot 10^{-11} p^2 + 7,535 \cdot 10^{-9} p + 1}{3,726 \cdot 10^{-8} p^3 + 2,231 \cdot 10^{-5} p^2 + 6,68 \cdot 10^{-3} p + 1}.$$

ЛЧХ замкнутого контура скорости при обработке возмущающего воздействия рассчитана с помощью программы Матлаб и приведены на рисунке 17.

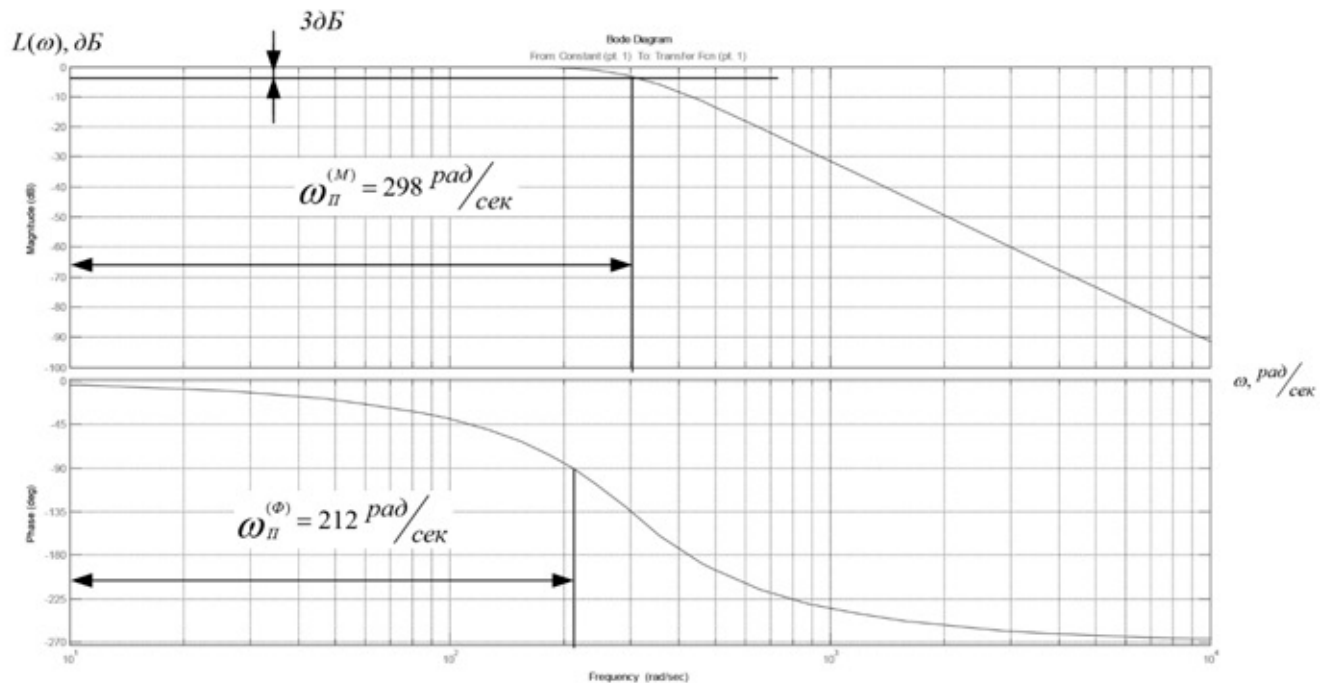


Рисунок 17. - ЛЧХ замкнутого контура скорости при обработке возмущающего воздействия

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного по МО, при обработке ступенчатого возмущающего воздействия:



- установившаяся ошибка по возмущению при  $\Delta M_c = M_n = 62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$

$$\Delta\omega_{\text{возм.уст}} = \frac{a_c \cdot a_m \cdot T_{\text{мт}}}{J_{\text{эл}}} \cdot \Delta M_c = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,00167}{2961,25} \cdot 62185,8 = 0,1403 \text{ рад/с};$$

- динамический провал (всплеск) скорости при набросе (сбросе) нагрузки  $\Delta M_c = 62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$

$$\begin{aligned} \Delta\omega_{\text{возм. макс}} &= \left( \frac{a_c a_m T_{\text{мт}}}{J_{\text{эл}}} \cdot \Delta M_c \right) \cdot [0,37 \cdot (1 + 0,95 \cdot a_c)] = \\ &= \left( \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,00167}{2961,25} \cdot 62185,8 \right) \cdot [0,37 \cdot (1 + 0,95 \cdot 2)] = 0,1505 \text{ рад/с}. \end{aligned}$$

### 2.7.5 Оптимизация контура САУ ЭДС двигателя

САУ ЭДС двигателя работает во второй зоне регулирования скорости электропривода и состоит из двух контуров регулирования: внутренний контур тока возбуждения двигателя и внешний контур ЭДС двигателя. Настройка контуров начинается с внутреннего контура тока.

Структурная схема линейаризованной САУ ЭДС двигателя приведена на рисунке 18.

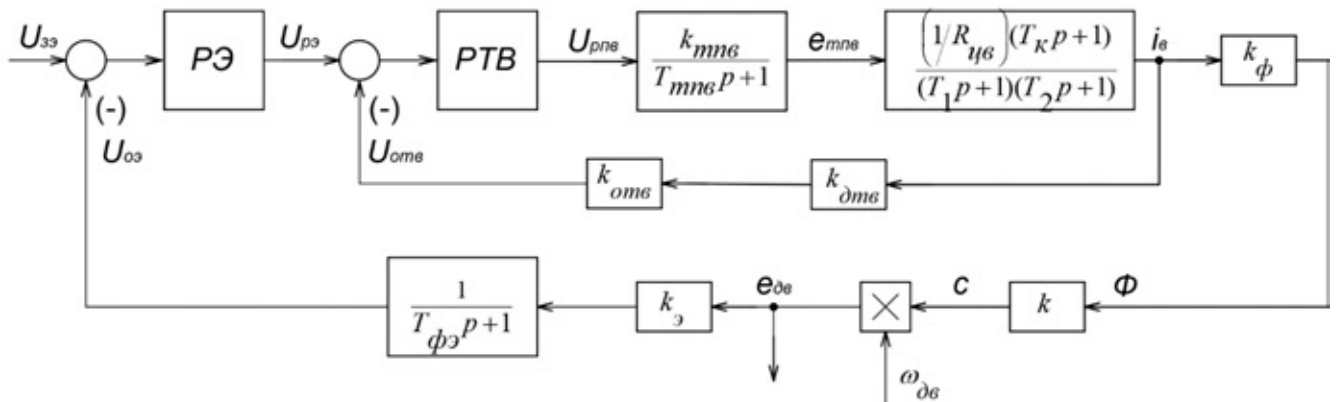


Рисунок 18. - Структурная схема линейаризованной САУ ЭДС

### 2.7.5.1 Контур тока возбуждения

Структурная схема контура тока возбуждения электродвигателя приведена на рисунке 19,а. Контур содержит три инерционных (апериодических) и одно форсирующее звено. Постоянные времени звеньев связаны соотношением  $T_1 \gg (T_{m\pi\epsilon} + T_2)$  и  $T_1 > T_\kappa$ . Тогда принимаем:

$T_1 = T_\epsilon + T_\kappa + T_s = 1,05 + 0,105 + 0,323 = 1,478 \text{ с}$  – большая постоянная времени контура;

$$T_{m\pi\epsilon} = (T_{m\pi\epsilon} + T_2) = 0,00167 + 0,0229 = 0,02457 \text{ с}$$

– малая постоянная времени контура,

$$\text{где } T_2 = \frac{T_\kappa \cdot T_s}{T_\kappa + T_s + T_\epsilon} = \frac{0,105 \cdot 0,323}{0,105 + 0,323 + 1,05} = 0,0229 \text{ с}$$

- эквивалентная малая постоянная времени контура тока.

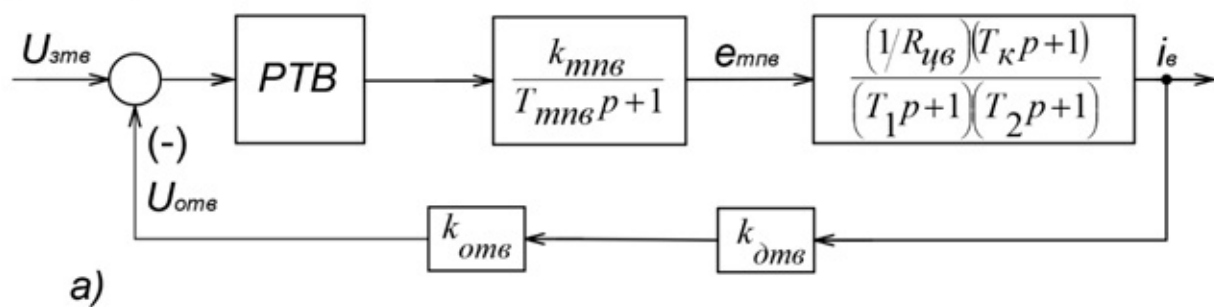
Для компенсации влияния форсирующего звена в прямом канале устанавливают в цепь обратной связи инерционное звено с передаточной функцией

$$W_{\phi.\text{отв}}(p) = \frac{1}{T_{\phi.\text{отв}2} p + 1},$$

$$\text{где } T_{\phi.\text{отв}2} = T_\kappa = 0,105 \text{ с}$$

- постоянная времени которого выбирается из условия.

Структурная схема преобразованного контура тока возбуждения приведена на рисунке 19, б.



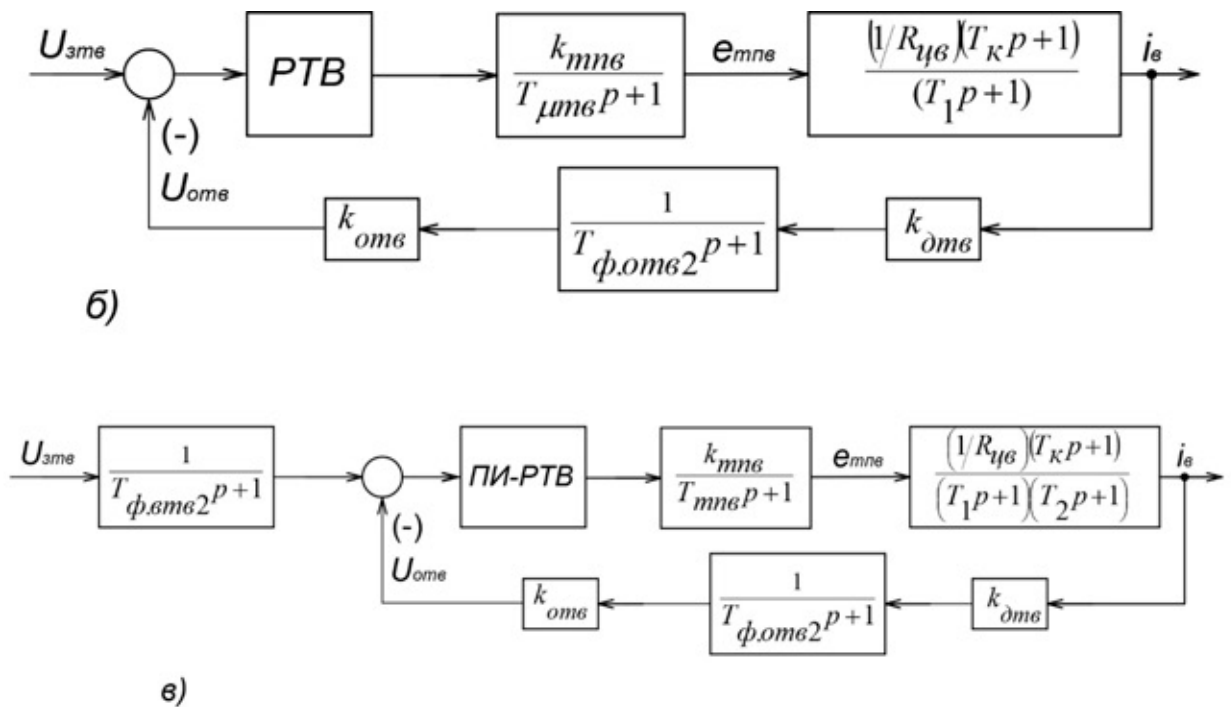


Рисунок 19 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Для настройки контура приведенного на рисунке 19,б, выбирают ПИ-регулятор тока возбуждения с передаточной функцией

$$W_{pme}(p) = k_{pme} \cdot \frac{T_{pme} \cdot p + 1}{T_{pme} \cdot p}.$$

Настройку контура производят на МО, тогда:

- постоянная времени регулятора тока

$$T_{pme} = T_l = 1,478 \text{ с};$$

- коэффициент усиления регулятора

$$k_{pme} = \frac{T_l \cdot R_{ys}}{k_{mne} \cdot k_{me} \cdot a_{me} \cdot T_{zme}} = \frac{1,478 \cdot 3,404}{48,3 \cdot 0,1887 \cdot 2 \cdot 0,02457} = 11,23,$$

$$\text{где } k_{me} = \frac{U_{zme\_max}}{I_{с.н}} = \frac{10}{53} = 0,1887 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$a_{me} = 2$  - коэффициент оптимизации по МО;

$U_{zme\_max} = 10 \text{ В}$  – максимальное значение напряжения управления на входе контура.

Настроенный таким образом контур (рисунок 19,б) имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W_{\text{тв.раз}}(p) = \frac{1}{a_{\text{тв}} \cdot T_{\text{штв}} p \cdot (T_{\text{штв}} p + 1)};$$

- замкнутого контура (по управлению)

$$W_{\text{тв.у.зам}}(p) = \frac{(1/k_{\text{тв}})(T_{\text{к}} p + 1)}{a_{\text{тв}} \cdot T_{\text{штв}}^2 p^2 + a_{\text{тв}} \cdot T_{\text{штв}} p + 1}.$$

Перерегулирование в контуре при обработке ступенчатого воздействия зависит главным образом от отношения  $T_{\text{к}}/a_{\text{тв}} \cdot T_{\text{штв}}$ . При настройке на МО ( $a_{\text{тв}} =$

2) уже при отношении  $T_{\text{к}}/T_{\text{штв}} > 1$  перерегулирование превышает 6,7 %. Поэтому для уменьшения перерегулирования на входе контура устанавливается сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W_{\text{ф.втвзам}}(p) = \frac{1}{T_{\text{ф.втв2}} p + 1},$$

постоянная времени которого выбирается из условия  $T_{\text{ф.втв2}} = T_{\text{к}} = 0,105 \text{ с}$ .

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи регулятора тока определяется по выражению

$$k_{\text{отс}} = \frac{k_{\text{тв}}}{k_{\text{штв}}} = \frac{0,1887}{0,06} = 1,887,$$

где  $k_{\text{штв}} = 0,1 \text{ В/А}$  – коэффициент датчика тока возбуждения с учетом параметров стандартного шунта ( $I_{\text{штв}} = 100 \text{ А}$ ,  $\Delta U_{\text{штв}} = 0,075 \text{ В}$ ) и коэффициента усиления типовой ячейки датчика тока.

Передаточная функция разомкнутого контура тока возбуждения

$$W_{ms, paz}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu ms} p \cdot (T_{\mu ms} p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,02457^2 p^2 + 2 \cdot 0,02457 p} =$$

$$= \frac{1}{0,00121 p^2 + 0,04914 p}.$$

Передаточная функция замкнутого контура по управлению с фильтром на входе имеет вид

$$W_{зам}(p) = \frac{1/k_{ms}}{a_{ms} \cdot T_{\mu ms}^2 p^2 + a_{ms} \cdot T_{\mu ms} p + 1} = \frac{1/0,1887}{2 \cdot 0,02457^2 p^2 + 20,02457 p + 1} =$$

$$= \frac{5,3}{0,00121 p^2 + 0,04917 p + 1}.$$

Структурная схема настроенного таким образом контура тока возбуждения электродвигателя имеет вид, представленный на рисунке 19, в.

ЛЧХ замкнутого контура тока возбуждения рассчитана с помощью программы Матлаб и приведена на рисунке 20.

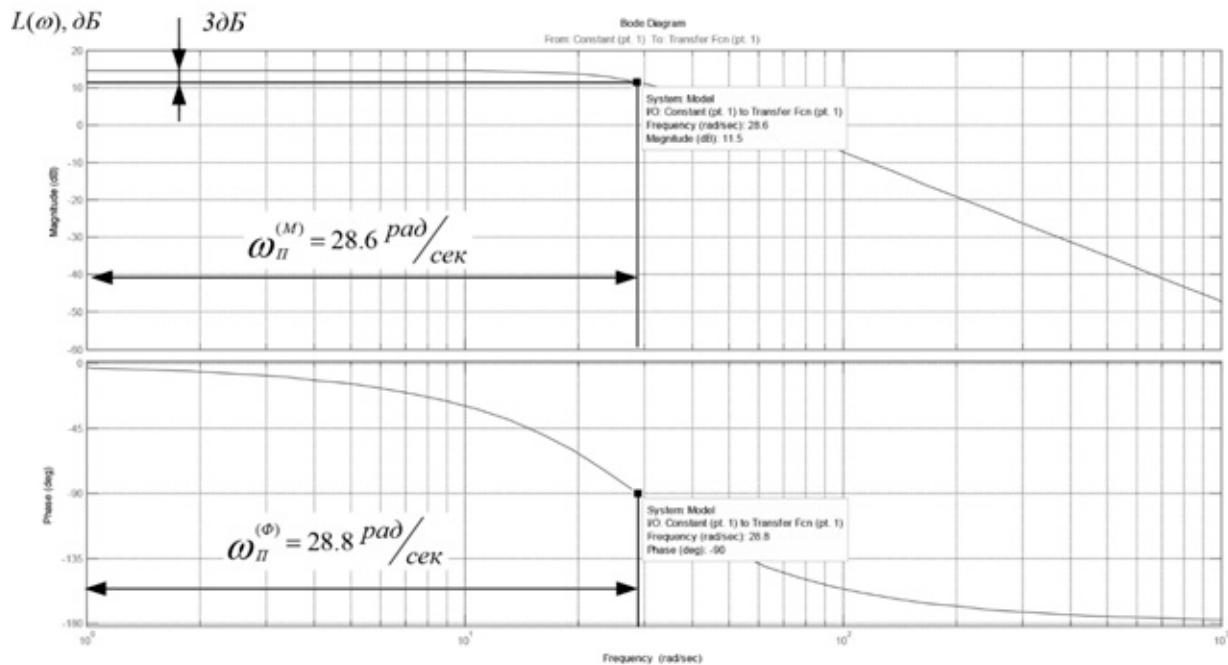


Рисунок 20 – ЛЧХ замкнутого контура тока возбуждения

Ожидаемые показатели качества работы контура тока возбуждения с фильтром на входе по управлению:

- установившаяся ошибка  $\Delta I_{в.уст} = 0$ ;
- полоса пропускания по модулю и фазе

$$\omega_n^{(M)} = \omega_n^{(\phi)} = \frac{0,71}{T_{\mu\tau\sigma}} = \frac{0,71}{0,02457} = 28,897 \text{ рад/с} ;$$

- показатели при обработке ступенчатого входного воздействия:

$\sigma = 4,3 \%$  - перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu\tau\sigma} = 4,1 \cdot 0,02457 = 0,1007 \text{ с}$  - время первого и окончательного

вхождения в 5% зону.

По ЛЧХ замкнутого контура тока находим значение частоты пропускания контура

$$\omega_i^{(i)} = \omega_i^{(\phi)} = 10^{1,456} = 28,6 \text{ рад/с}$$

или

$$f_i^{(i)} = f_i^{(\phi)} = \frac{\omega_i^{(\phi)}}{2\pi} = \frac{28,6}{2\pi} = 4,55 \text{ Гц}.$$

### 2.7.5.2 Контур ЭДС двигателя

Структурная схема контура ЭДС в первом приближении может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке 21, где обозначено

$$W_{т.у. замк}(p) = \frac{(1/k_m) \cdot (T_{\kappa} p + 1)}{a_{\tau\sigma} T_{\mu\tau\sigma}^2 p^2 + a_{\tau\sigma} T_{\mu\tau\sigma} p + 1}$$

- передаточная функция оптимизированного замкнутого по управлению контура тока возбуждения двигателя.

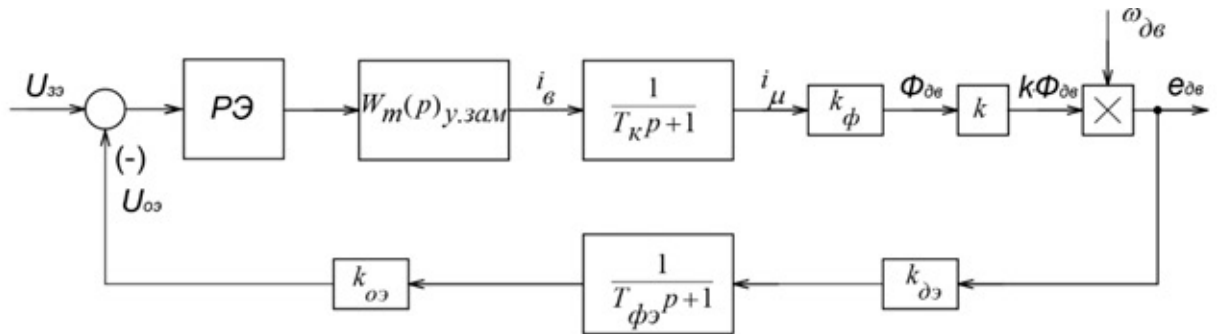


Рисунок 21 - Структурная схема контура ЭДС двигателя

После преобразования структурная схема примет вид, приведенный на рисунке 22.

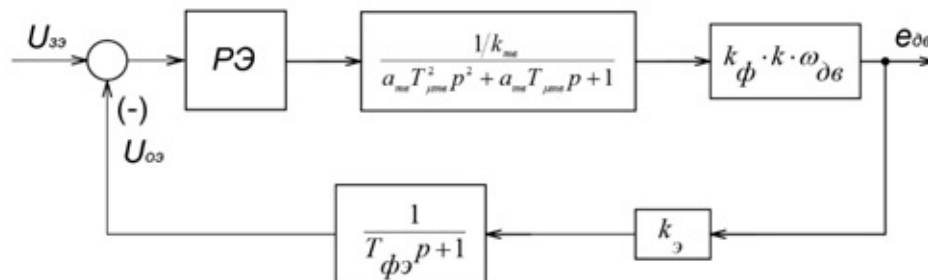


Рисунок 22. - Структурная схема контура ЭДС двигателя после преобразования

Основное назначение контура ЭДС – поддержание постоянного значения ЭДС двигателя, равного номинальному значению  $E_{\delta в.н}$ , во второй зоне регулирования скорости (выше номинальной) ослаблением поля. Это достигается ослаблением потока возбуждения двигателя от номинального значения  $\Phi_{\delta в.н}$  до минимального значения  $\Phi_{\delta в.мин}$ . При этом изменяется коэффициент пропорциональности между током возбуждения и потоком  $k_{\phi} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I_{\phi}}$  от начального значения при  $\Phi_{\delta в.н}$  до максимального значения при  $\Phi_{\delta в.мин}$ . Управление на входе контура постоянное  $U_{зэ, макс} = 10 \text{ В} = const$  и соответствует  $E_{\delta в.н}$ . Основным воздействием на контур является возмущение – изменение скорости вращения двигателя от  $\omega_{\delta в.н}$  до  $\omega_{эт. макс}$ .

На практике для настройки контура ЭДС двигателя в двухзонном электроприводе применяют П-, ПИ- и И-регуляторы. Контур с П-регулятором

характеризуется высоким быстродействием, но имеет статические ошибки отработки ЭДС двигателя как по управлению так и по возмущению. Контур с ПИ-регулятором и И-регулятором обеспечивают нулевую установившуюся ошибку поддержания ЭДС двигателя и по управлению и по возмущению.

При определении параметров настройки регулятора ЭДС следует принять  $\omega_{\text{дв.н}} = 32,98 \text{ рад/с}$ ,  $\omega_{\text{дв.макс}} = 52,36 \text{ рад/с}$ , а значение коэффициента  $k_{\phi}$  определить по кривой намагничивания на ее линейном участке

$$k_{\phi} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I_{\phi}} = \frac{\Phi_{\text{н}} - \Phi_{\text{мин}}}{I_{\phi.\text{н}} - I_{\phi.\text{мин}}} = \frac{0,115 - 0,072}{53 - 19} = 0,00126$$

Настройку контура ЭДС двигателя ведем на МО с ПИ-регулятором ЭДС (ПИ-РЭ). Передаточная функция регулятора ЭДС

$$W_{\text{рз}}(p) = k_{\text{рз}} \frac{T_{\text{рз}} p + 1}{T_{\text{рз}} p},$$

где

$$k_{\text{рз}} = \frac{k_{\text{тс}} \left[ 1 + \left( \frac{T_{\phi\text{з}}}{a_{\text{тс}} T_{\mu\text{тс}}} \right)^2 \right]}{k_{\phi} \cdot k \cdot \omega_{\text{дв.н}} \cdot k_{\text{э}} \cdot 2 \cdot \frac{T_{\phi\text{з}}}{a_{\text{тс}} T_{\mu\text{тс}}}} = \frac{0,1887 \left[ 1 + \left( \frac{0,012}{2 \cdot 0,02457} \right)^2 \right]}{0,00126 \cdot 236 \cdot 32,98 \cdot 0,01075 \cdot 2 \cdot \frac{0,012}{2 \cdot 0,02457}}$$

$$k_{\text{рз}} = 3,8834$$

- коэффициент усиления регулятора ЭДС;

$$T_{\text{рз}} = \frac{4T_{\phi\text{з}} \left[ 1 + \left( \frac{T_{\phi\text{з}}}{a_{\text{тс}} T_{\mu\text{тс}}} \right)^2 \right]}{\left( 1 + \frac{T_{\phi\text{з}}}{a_{\text{тс}} T_{\mu\text{тс}}} \right)^3} = \frac{4 \cdot 0,012 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,012}{2 \cdot 0,02457} \right)^2 \right]}{\left( 1 + \frac{0,012}{2 \cdot 0,02457} \right)^3} = 0,0264 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора ЭДС;



$$T_{\phi\omega} = T_{\phi n} = T_{\partial\sigma} = \frac{L_{\partial\sigma}}{R_{\partial\sigma, \text{сop}}} = \frac{0,000111}{0,00915} = 0,012 \text{ с}$$

– постоянная времени интегрирующего звена в цепи обратной связи по ЭДС, равная постоянной времени датчика напряжения;

$$k_{\omega} = \frac{U_{\text{ЭД, макс}}}{E_{\partial\sigma, n}} = \frac{10}{929,85} = 0,01075$$

– коэффициент обратной связи по ЭДС.

Настроенный таким образом контур ЭДС двигателя имеет следующую передаточную функцию замкнутого контура по управлению

$$W_{\text{рз.у. замк}}(p) = \frac{(1/k_{\omega}) \cdot (T_{\text{рз}} p + 1) \cdot (T_{\phi\omega} p + 1)}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1} =$$

$$= \frac{(1/0,01075) \cdot (0,0264 p + 1)(0,012 p + 1)}{6,24 \cdot 10^{-11} p^4 + 7,74 \cdot 10^{-9} p^3 + 3,25 \cdot 10^{-7} p^2 + 0,0264 p + 1},$$

$$\text{где } a_4 = \frac{k_{\text{мс}} \cdot a_{\text{мс}} \cdot T_{\mu\text{мс}}^2 \cdot T_{\phi\omega} \cdot T_{\text{рз}}}{k_{\text{рз}} \cdot k_{\phi} \cdot k \cdot \omega_{\partial\sigma, n} \cdot k_{\omega}} =$$

$$= \frac{0,1887 \cdot 2 \cdot 0,02457^2 \cdot 0,012 \cdot 0,0264}{3,8834 \cdot 3,56 \cdot 236 \cdot 32,98 \cdot 0,01075} = 6,24 \cdot 10^{-11};$$

$$a_3 = \frac{k_{\text{мс}} \cdot a_{\text{мс}} \cdot T_{\mu\text{мс}} \cdot T_{\text{рз}} \cdot (T_{\phi\omega} + T_{\mu\text{мс}})}{k_{\text{рз}} \cdot k_{\phi} \cdot k \cdot \omega_{\partial\sigma, n} \cdot k_{\omega}} =$$

$$= \frac{0,1887 \cdot 2 \cdot 0,02457 \cdot 0,0264 \cdot (0,012 + 0,02457)}{3,8834 \cdot 3,56 \cdot 236 \cdot 32,98 \cdot 0,01075} = 7,74 \cdot 10^{-9};$$

$$a_2 = \frac{k_{\text{мс}} \cdot T_{\text{рз}} \cdot (a_{\text{мс}} \cdot T_{\mu\text{мс}} + T_{\text{рз}})}{k_{\text{рз}} \cdot k_{\phi} \cdot k \cdot \omega_{\partial\sigma, n} \cdot k_{\omega}} =$$

$$= \frac{0,1887 \cdot 0,0264 \cdot (2 \cdot 0,02457 + 0,0264)}{3,8834 \cdot 3,56 \cdot 236 \cdot 32,98 \cdot 0,01075} = 3,25 \cdot 10^{-7};$$

$$a_1 = \left( 1 + \frac{k_{та}}{k_{рз} \cdot k_{\phi} \cdot k \cdot \omega_{дв.н} \cdot k_{э}} \right) \cdot T_{рз} =$$

$$= \left( 1 + \frac{0,1887}{3,8834 \cdot 3,56 \cdot 236 \cdot 32,98 \cdot 0,01075} \right) \cdot 0,0264 = 0,0264 .$$

Установившаяся статическая ошибка контура по управлению и по возмущению равна нулю

$$\Delta E_{у.уст} = \Delta E_{в.уст} = 0.$$

Работа контура ЭДС по возмущению может быть оценена только в режимах совместной работы всей системы регулирования двухзонного электропривода. Это может быть выполнено путем моделирования на имитационной модели или экспериментально на физической системе.

## 2.8 Нелинейная САУ РЭП

### 2.8.1 Анализ основных нелинейностей электропривода

Основными нелинейностями двухзонного тиристорного электропривода являются:

- насыщение всех регуляторов, выходное напряжение которых ограничено на уровне  $(11 \div 12)B$  при напряжении источников питания операционных усилителей  $\pm 15B$ . Принимаем при моделировании  $U_{рег.макс} = \pm 10B$ ;

- ограничение углов управления тиристорных преобразователей, при моделировании это учитывается ограничением выходной ЭДС преобразователя

$$E_{тп.макс} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} = 1215,9 \cdot \cos 30 = 1053B ,$$

$$E_{тпв.макс} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} = 276,86 \cdot \cos 30 = 239,77B ;$$

- ограничение тока якорной цепи, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости

$$U_{pc.доп} = k_m \cdot I_{эп.макс} = 0,00246 \cdot 4072,5 = 10B;$$

- реактивный характер момента нагрузки, который определяется выражением  $M_c(\omega) = M_c \cdot \sin \omega$ ;

- нелинейная зависимость потока двигателя от тока возбуждения, которая определяется кривой намагничивания двигателя;

- специфические свойства тиристорного преобразователя, которое проявляется в дискретности управления, односторонней проводимости, нелинейности регулировочных характеристик. Указанные свойства будут играть существенную роль при управлении двигателем со стороны якоря и малосущественную – при управлении со стороны обмотки возбуждения двигателя. Здесь важным является то, как эффективно гасятся поле двигателя в зоне ослабления поля возбуждения.

## 2.8.2 Структурная схема САУ ЭП

Полная структурная схема двухзонного электропривода клетки приведена на рисунке 23.

Электропривод имеет две системы автоматического управления: САУ скорости с П-РС и ПИ-РТЯ и САУ напряжения двигателя с ПИ-РЭ и ПИ-РТВ. Параметры элементов структурной схемы приведены в таблице 5.

Таблица 5. - Параметры элементов структурной схемы

$k_{pc}$	$k_{oc}$	$k_{dc}$	$k_{pm}$	$k_{om}$	$k_{dm}$	$T_{pm},$ с	$k_{mn}$	$T_{mn},$ с	$R_{яц},$ Ом
210	1,2	0,15916	0,4155	1,23	0,002	0,0147	197,55	0,00167	0,04588

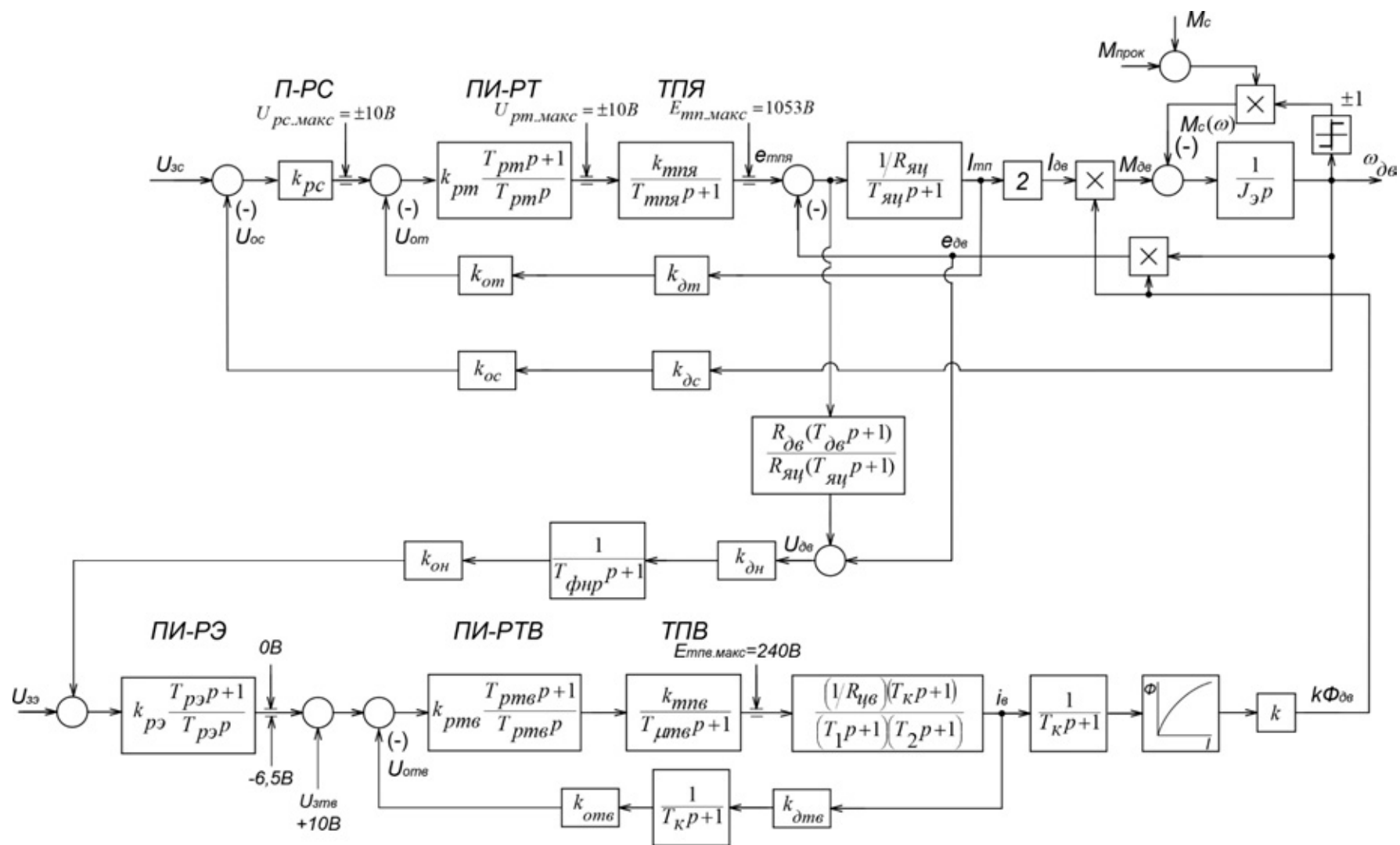


Рисунок 23 – Структурная схема САУ ЭП

Продолжение таблицы 5.

$T_{яц},$ $c$	$c,$ $(H \cdot m)$ $A$	$J_2,$ $кг \cdot м^2$	$k_{дн}$	$k_{он}$	$T_{фн}=T_{дв},$ $c$	$R_{дв.зоп},$ $Ом$	$k_{рз}$	$T_{рз},$ $c$
0,0147	27,19	2961,25	0,01	1,075	0,012	0,00916	0,00137	0,0264

Продолжение таблицы 5.

$k_{рме}$	$T_{рме},$ $c$	$k_{мме}$	$T_{мме},$ $c$	$T_{к},$ $c$	$R_{цв},$ $Ом$	$T_1,$ $c$	$T_2,$ $c$	$k_{оме}$	$k_{дме}$
11,23	1,478	48,3	0,00167	0,105	3,0104	1,478	0,0229	1,887	0,1

Продолжение таблицы 5.

$k$	$M_{с(тр)},$ $H \cdot м$	$M_n,$ $H \cdot м$	$L_{яц},$ $Гн$	$L_{дв},$ $Гн$	$E_{мп.макс},$ $B$	$E_{d0},$ $B$	$I_{макс1},$ $A$
236	5403	62185,8	0,000674	0,000111	1053	1215,9	4072,5

### 2.8.3 Исследование электропривода на имитационных моделях

Исследования электропривода при работе в двух зонах регулирования реализовано

Расчет переходных процессов в системах регулируемого двухзонного электропривода постоянного тока нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный, выполненного по структурной многоконтурной схеме с последовательной коррекцией, выполняется методом имитационного моделирования с помощью программы Matlab. Программа воспроизводится методом имитационного численного моделирования переходных процессов в аналоговых нелинейных системах регулируемого электропривода при типовых задающих и возмущающих воздействиях. Она позволяет в широких пределах варьировать структуру и значения параметров элементов САУ, выводить результаты расчетов в виде графиков, по которым определяются динамические качества.

Схема модели двухзонного электропривода представлена на рисунке 24.

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 25-29.

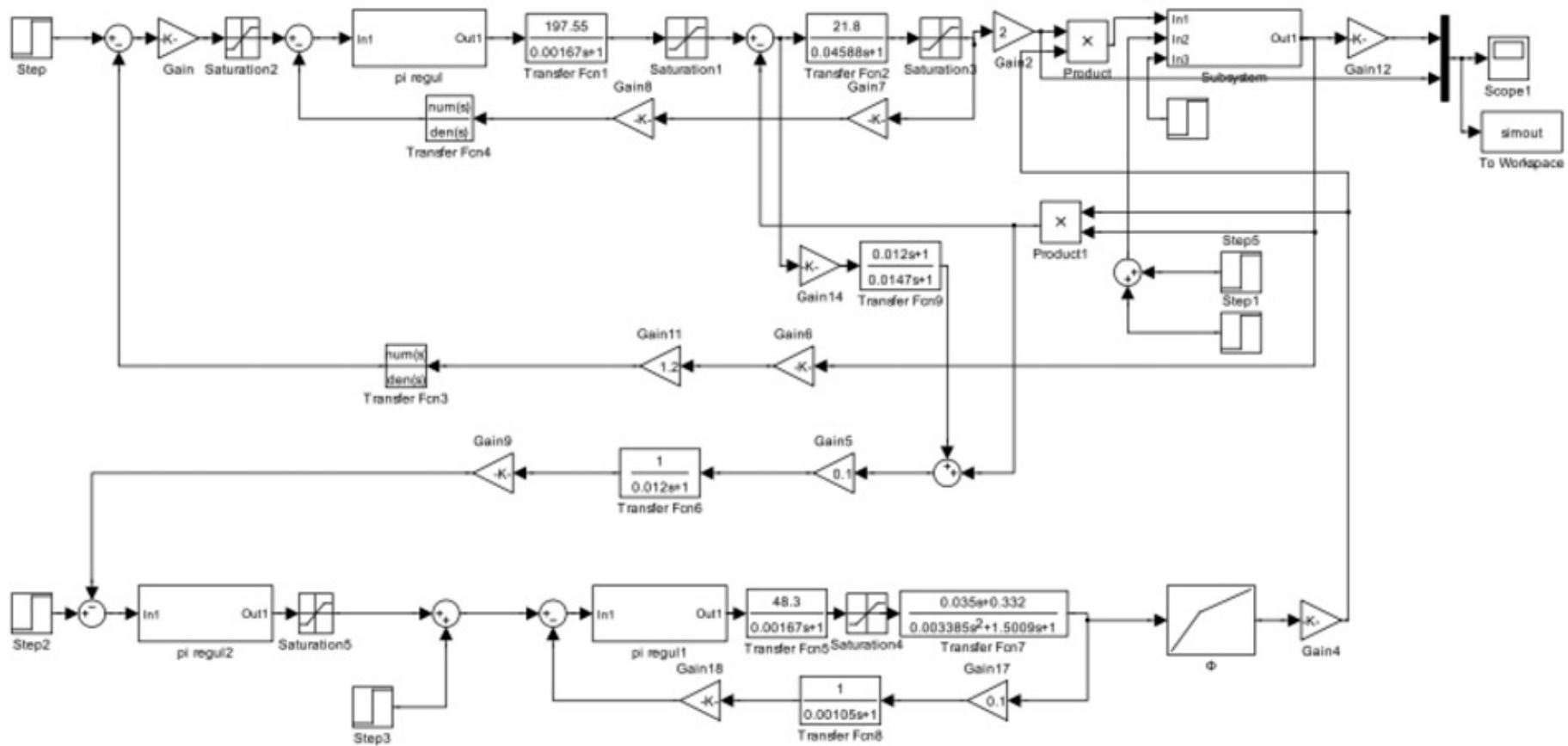


Рисунок 24 – Схема набора модели в программе Matlab.

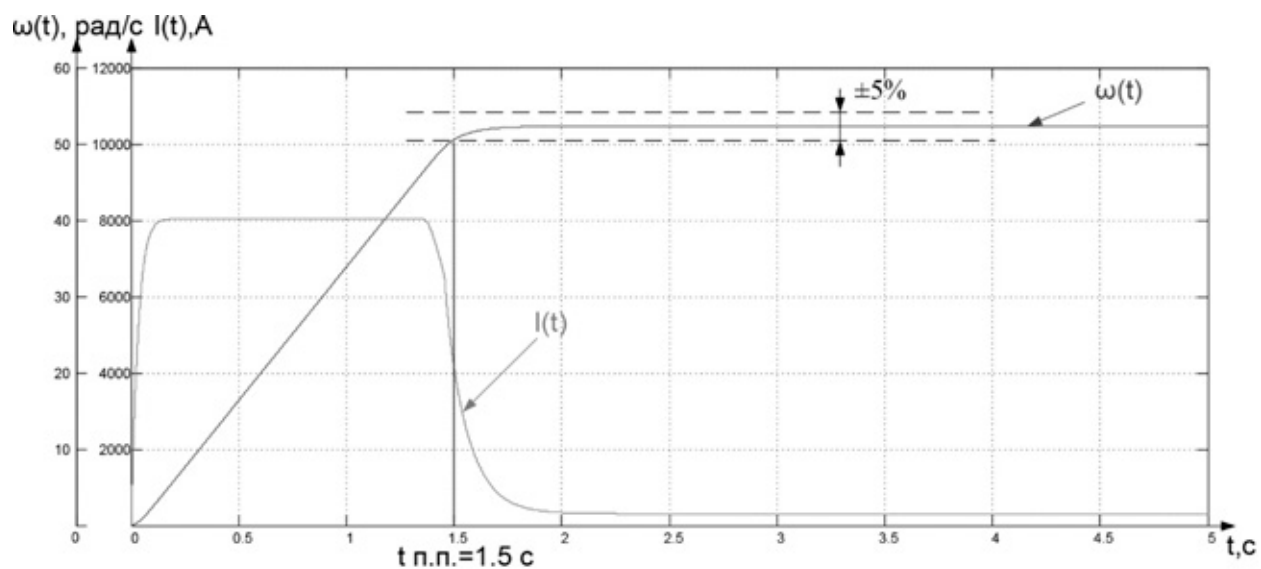


Рисунок 25. – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{zc}=10 \text{ В}$ .

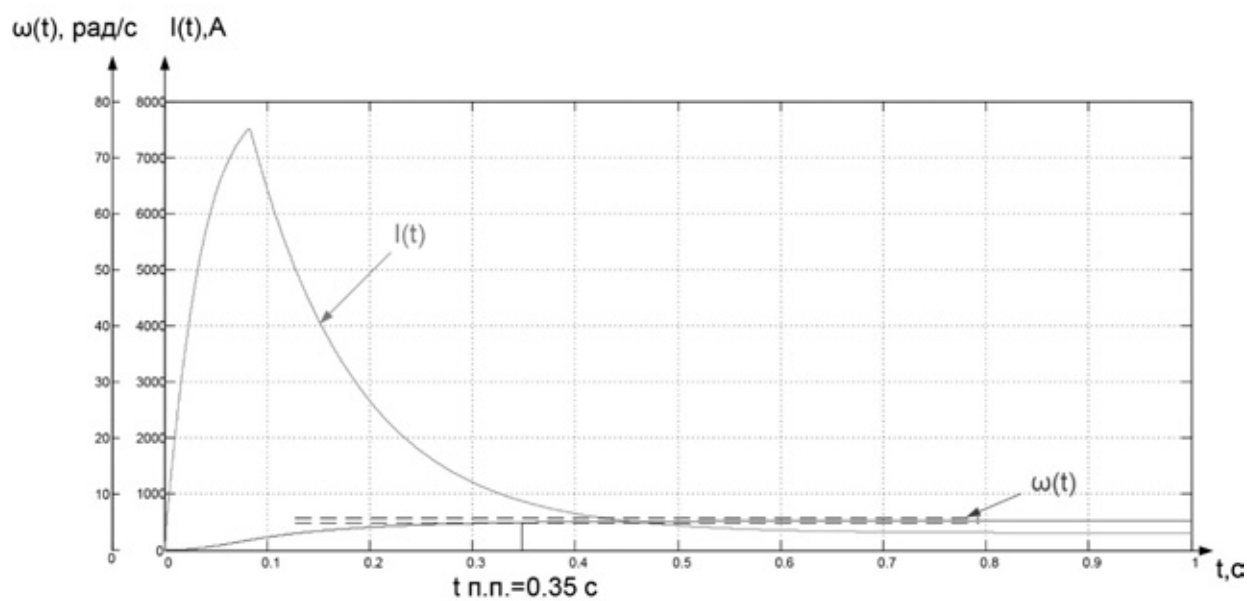


Рисунок 26. – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{zc}=1 \text{ В}$ .



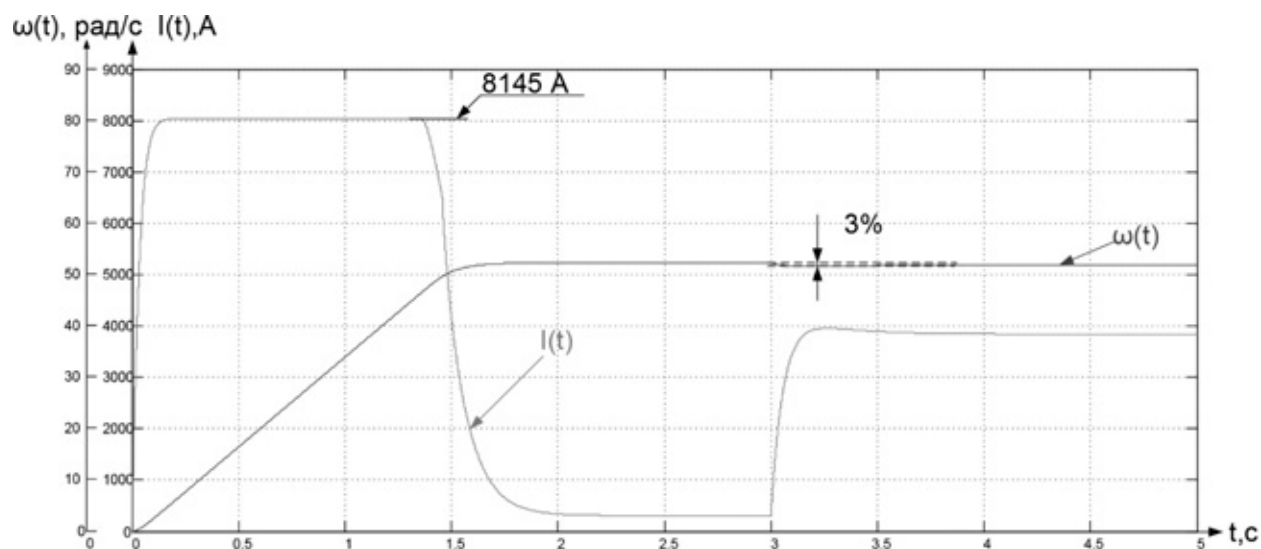


Рисунок 27. – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{zc}=10 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 3 секунд до момента прокатки  $M_c=62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

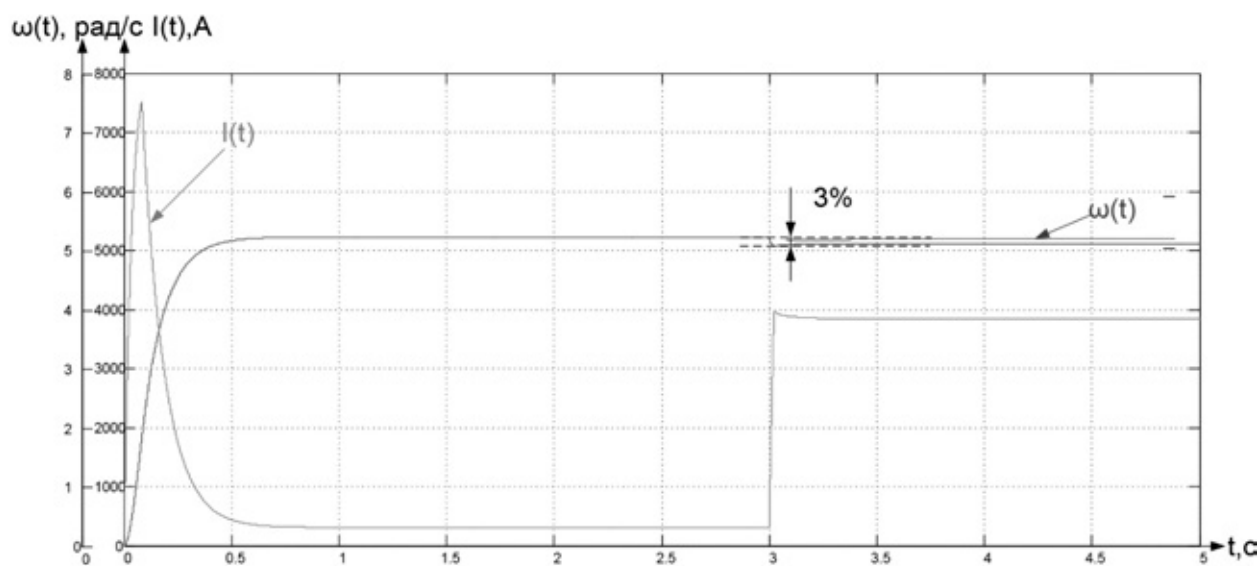


Рисунок 28. - – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_{zc}=1 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 3 секунд до момента прокатки  $M_c=62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

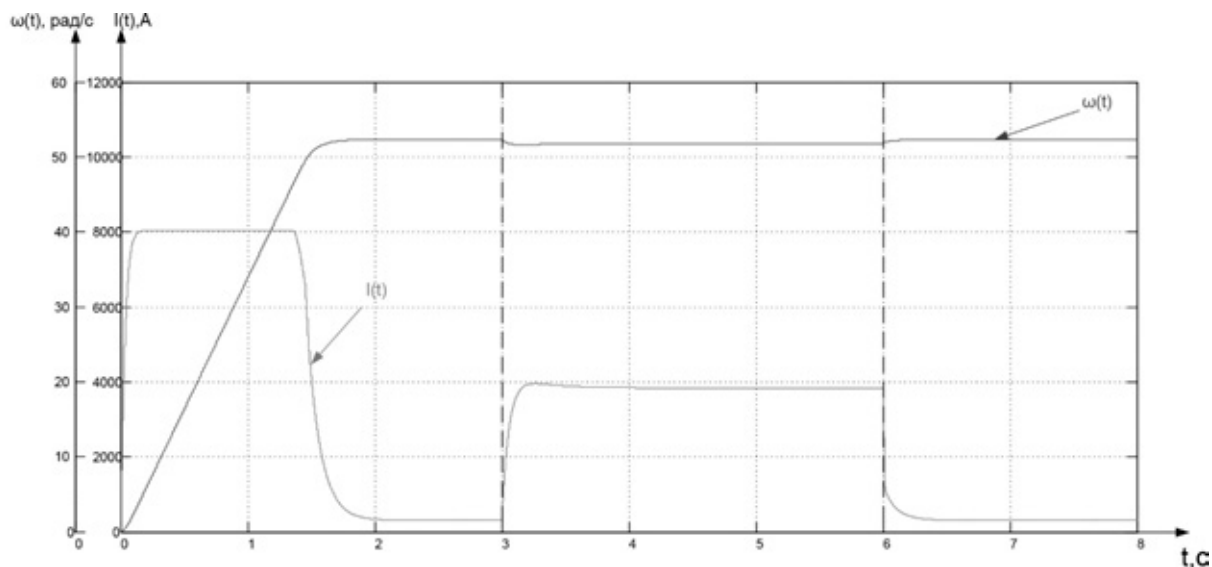


Рисунок 29. - – Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н} \cdot \text{м}$  при  $U_{zc} = 10 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 3 секунд до момента прокатки  $M_c = 62185,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$  в 6 секунд сброс нагрузки, что соответствует окончанию прокатки.

Выводы по результатам имитационного моделирования. Электропривод хорошо управляем и в первой и во второй зоне регулирования. Быстродействие в «большом» определяется главным образом значением  $I_{\text{эт. макс.}}$ . Ошибка по управлению равна нулю, а по возмущению зависит от значения  $k_{pc}$ .

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
З-5Г2А1	Герасимову Артему Владимировичу

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИЭО)	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Инициатор проекта ОАО «Евраз3СМК»;</li> <li>- Примерный бюджет проекта 9 млн.руб.;</li> <li>- В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик;</li> </ul>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</li> <li>- Минимальный размер оплаты труда (по 2017 году) составляет 7500 руб.</li> </ul>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование,</li> <li>- Потенциальные потребители результатов НТП,</li> <li>- Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> </ul>
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Планирование выполнения проекта,</li> <li>- Расчет бюджета проекта</li> </ul>

3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной и экономической эффективности исследования; - Определение научно-технической эффективности
--	---

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

Линейный график разработки проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры	Фигурко А.А.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Герасимов Артем Владимирович		

### **3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта (произвести технико-экономическое обоснование проекта);
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку экономической эффективности исследования.

#### **3.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование**

Повсеместная унификация оборудования доказала свою эффективность при подготовке обслуживающего персонала. Тем самым решается проблема быстрого реагирования на неполадки, сбои и аварийные режимы работы электрооборудования. Во время производственного процесса рабочие сами отвечают за свой участок, цех, конкретный агрегат.

Кроме того, на месте проще проанализировать причины сбоя в наладке и работе оборудования с необходимыми показателями.

Возрастает заинтересованность рабочих в результатах своего труда, позволяет им принимать решения о своевременном выводе из физически и морально устаревшего оборудования.

Применение асинхронных электродвигателей с частотным приводом позволяет модернизировать производство, повысить надежность, срок службы

оборудования, снизить энергопотребление. Асинхронные электродвигатели всегда в наличии, что позволит в случае необходимости провести оперативную замену.

Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

- более низкая стоимость;
- минимальные затраты на обслуживание;
- обеспечение требуемой степени защиты.

При этом асинхронные электродвигатели более надежны, чем электродвигатели постоянного тока за счет отсутствия щеточного аппарата. Стоимость асинхронного электродвигателя в 5 раз меньше двигателя постоянного тока. Асинхронные электродвигатели просты в обслуживании, всегда есть в наличии на случай аварийной замены.

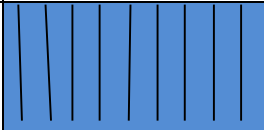
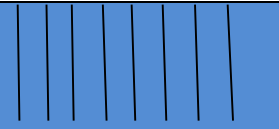
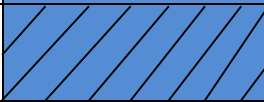
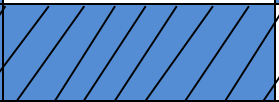

### **3.1.1 Потенциальные потребители проекта**

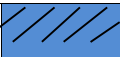

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. В нашем случае для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Сегментируем рынок металлургического оборудования по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид электропривода

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка металлургического оборудования по используемым видам электроприводов:

		вид электропривода		
		Электропривод постоянного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
<b>Размер компании</b>	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

	Фирма А		Фирма В	
--	---------	--	---------	--

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке металлургического оборудования не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Результат сегментирования:

- к основным сегментам данного рынка относятся использование электропривода с частотным регулированием крупными компаниями;
- наиболее перспективным сегментом является предложение электропривода с частотным регулированием средним компаниям;
- сегментом рынка, привлекательных для предприятия в будущем, является предложение электропривода с частотным регулированием мелким, динамично развивающимся, компаниям.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных проектных решений целесообразно проводить с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 9. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены электроприводы (Бф - электропривод постоянного тока с управлением от магнитных усилителей системы Г-Д, БК1 - частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, БК2 - Электропривод постоянного тока с тиристорным возбудителем генератора).

Таблица 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	5	3	0,75	0,75	0,45
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	2	0,28	0,28	0,14
3. Энергоэкономичность	0,11	4	5	3	0,44	0,55	0,33
4. Надежность	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
5. Уровень шума	0,03	3	4	4	0,09	0,12	0,12
6. Безопасность	0,08	2	4	3	0,16	0,32	0,24



Продолжение таблицы 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	3	4	3	0,12	0,16	0,12
2. Цена	0,15	4	5	3	0,6	0,75	0,45
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	4	4	3	0,48	0,48	0,36
4. Послепродажное обслуживание	0,05	3	3	2	0,15	0,15	0,1
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>3,87</b>	<b>4,56</b>	<b>3,11</b>

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 9, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

### 3.1.3 Оценка коммерческого потенциала инженерных решений

Выбор структурной (принципиальной) схемы электропривода сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Таблица 10 – Таблица сравнений нескольких возможных вариантов комплектации электропривода

	Варианты		Примечания (преимущества недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих	Стоимость в 2 раза больше	Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности	Надежность, сложность обслуживания	Надежность, простота обслуживания	Отсутствие токосъемного кольца, щеточного механизма.
6. Питание:			
а) вид	U=930 В	U=930 В	
б) мощность	P=3550 кВт	P=3150 кВт	
7. Габариты	Больше в 2 раза	Меньше в 2 раза	
8. Масса	Тяжелее в 2 раза	Легче в 2 раза	

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех.

Таблица 11 – Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Уровень цели	низкий	средний	высокий
Оценка	1.0	0.5	0

обеспечения цели

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Оценка качества по групповым критериям

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0.5	0	0.5	2,25

Из таблицы 1 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

### 3.1.4 Определение научно-технической эффективности

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTY = \sum_{i=1}^n k_i \times \Pi_i ,$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;

$\Pi_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 13 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 14 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
<b>5-7</b>	<b>Средний НТУ</b>
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 15 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
<b>Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)</b>	<b>6</b>
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 16–Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
<b>В течение первых лет</b>	<b>10</b>
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
<b>Отрасль</b>	<b>4</b>
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \times 6 + 0.4 \times 7 + 0.2 \times 10 + 0.2 \times 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

### 3.2. Планирование комплекса работ на создание проекта

Комплекс работ по созданию проекта включает в себя 2 этапа:

- проектировка электропривода клетки прокатного стана;
- пуско-наладочные работы электропривода клетки прокатного стана.

Проект электропривода клетки будут разрабатывать 2 человека: руководитель проекта и инженер-разработчик.

Пуско-наладочные работы будут осуществлять руководитель и бригада электромонтеров.

### 3.2.1 Определение трудоемкости работ

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью - на основе вероятностных (экспертных) методов.

Для расчета трудоемкости используется вероятностный метод, в основе которого лежат две оценки времени выполнения.

Трудоемкость выполнения каждого цикла определяется по формуле

$$t_{ож} = \frac{3 \times t_{мин} + 2 \times t_{мик}}{5},$$

где  $t_{ож}$  - время математического ожидания - трудоемкость в человек/днях;

$t_{мин}$  - время выполнения работ при благоприятном стечении обстоятельств (чел/днях);

$t_{мак}$  - время выполнения работ при неблагоприятном стечении обстоятельств (чел/днях).

Трудоемкость всей темы определяется по формуле

$$T_{проекта} = \sum_{i=1}^n t_{ож.i},$$

где  $n$  - число этапов.

Трудоемкость всего проекта в рабочих днях определяется по формуле

$$T_{эр} = \frac{t_{ож}}{N} \times k_{\partial}$$

где  $N$  - число исполнителей;

$k_{\partial}$  - коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени для контрольных операций и т.д. Принимаем  $k_{\partial}=1,2$ .

Трудоемкость всего проекта в календарных днях определяется по формуле

$$T_{эк} = T_{эр} \cdot k_p,$$

где  $k_p$  - переводной поправочный коэффициент.

Переводной поправочный коэффициент рассчитывается по формуле

$$k_p = \frac{T_{\kappa}}{T_{\kappa} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 9} = 1,45,$$

где  $T_{\kappa} = 365$  календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 9$  - количество праздничных дней в году.

Среднеквадратичное отклонение определяется по формуле

$$s^2 = \frac{(t_{\text{мак}} - t_{\text{мин}})}{25}.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 17.

Таблица 17 - Трудоемкость проекта

Этап	Под этап	$t_{мин}$	$t_{мак}$	$t_{ож}$	$T_{эп}$		$T_{эк}$		$\sigma^2$
					Инженер	Науч.рук.	Инженер	Науч.рук.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	2	1,4	-	1,68	-	2,436	0,04
	2	5	6	5,4	6,48	-	9,396	-	0,04
	3	13	15	13,8	16,56	-	24,012	-	0,16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	4	2	3	2,4	-	2,88	-	4,176	0,04
	5	8	14	10,4	12,48	-	18,0966	-	1,44
2	6	20	30	24	-	28,8	-	41,76	4
	7	31	40	34,6	41,52	-	60,204	-	3,24
	8	15	20	17	20,4	-	29,58	-	1
3	9	3	4	3,4	4,08	-	5,916	-	0,04
	10	3	4	3,4	2,04	2,04	2,958	2,958	0,04
	11	5	6	5,4	6,48	-	9,396	-	0,04
	12	3	3	3	3,6	-	5,22	-	0
	13	6	7	6,4	7,68	7,68	11,136	11,136	0,04
4		115	154	131	121,32	43,08	175,914	62,466	-

Построим линейный график планирования (рисунок 4.2), основываясь на данных расчета, приведенных в таблице 4.9.



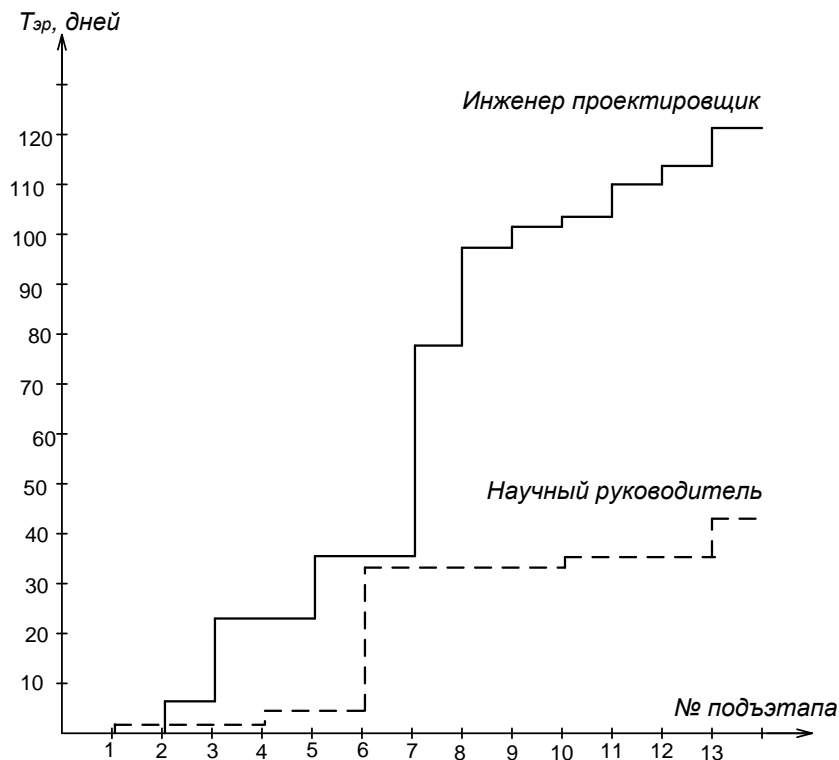


Рисунок 37 – Линейный график разработки проекта

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного проекта потребуется 120 рабочих дней.

### 3.2.2 Планирование пуско-наладочных работ (ПНР)

Пуско-наладочные являются важным звеном подготовки оборудования к эксплуатации. Состав ПНР определен исходя из комплекта электропривода механизма. Конструктивно наш привод состоит из:

- электродвигателя постоянного тока серии П2-21/33-3,15;
- преобразователя;
- силового блока с автоматическими выключателями;
- блока управления и регулирования.

Целью ПНР является доведение электропривода механизма до требований, предъявляемых технологическим процессом.

Весь комплекс работ разделим на этапы и определим в процентном соотношении время выполнения работ по каждому этапу отдельно. Результаты сведем в таблицу 18.

Таблица 18 – Этапы проведения ПНР в процентном соотношении

№	Этапы ПНР	Время выполнения, %
1	Подготовительные работы	10
2	Проверочные работы	20
3	Наладочные работы	50
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	5
	ИТОГО:	100

Таблица 19 – Последовательность выполнения ПНР

Наименование работ	Исполнители	Часы
1	2	3
Подготовительный этап:		
- ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей;	3,4	8
- составление рабочего графика проведения МНР и согласование с предприятием;	1	5
- подготовка аппаратуры и инструмента;	3,4	4
- внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	1,2	3
- определение соответствия технических характеристик установленного оборудования;	1,2	4
- составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	1	6

<p>2. Проверочные работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта;</li> <li>- проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик;</li> <li>- измерение аппаратурных параметров оборудования и электрических схем;</li> <li>- проверка правильности выполнения схем;</li> <li>- проверка работы и настройка электрических систем, блокировок и автоматики.</li> </ul>	2,4	12
	2,3	14
	1,3	10
	1,2	12
	3,4	22
<p>3.Наладочные работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- фазировка трансформатора опорных напряжений;</li> <li>- наладка и настройка СИФУ;</li> <li>- проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты;</li> <li>- проверка узла переключений напряжения преобразователя;</li> <li>- проверка датчиков тока и напряжения;</li> <li>- проверка изменения диапазонов напряжения преобразователя;</li> <li>- настройка устройства задания скорости;</li> <li>- итоговая проверка и наладка защиты и блокировки;</li> <li>- настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса;</li> <li>- испытание и настройка оборудования в холостую и под нагрузкой.</li> </ul>	1,2	15
	1,2,3,4	22
	1,2,3,4	13
	2,3	10
	1,2	12
	2	10
	2	18
	1,2,3,4	16
	1,4	34
	3,4	10
<p>4.Комплексное опробование:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки и механизмов;</li> <li>- согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов;</li> <li>- проверка режимов работы электропривода</li> </ul>	1,2,3,4	15
	1,2	24
	3,4	6
<p>5.Составление документов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- составление протоколов ПНР;</li> <li>- внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР;</li> </ul>	1	6
	1	9
<p>ИТОГО: по п.1,2,3,4,5</p>	1	206
	2	200
	3	150
	4	162

### **3.2.3 Состав бригады для проведения ПНР**

Количество членов бригады регламентируется требованиями к ПНР:

1. ПНР оборудования характеризуются узкой специализацией.
2. По правилам эксплуатации и настройки электрооборудования запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Состав бригады, проводящей ПНР:

- 1 – руководитель - инженер первой категории;
- 2 - электромонтер 6-го разряда;
- 3 - электромонтер 5-го разряда;
- 4- электромонтер 4-го разряда;

Результат испытаний ПНР обеспечивают работу электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя.

Всего на разработку и ПНР проекта потребуется 120 рабочих дней, которые выполняют 5 человек: руководитель проекта, инженер-конструктор и бригада электромонтеров.

### **3.3. Бюджет проектной работы**

Осуществление проектной работы потребует расчеты следующих пунктов затрат:

- материальные затраты (затраты на канцелярию и на литературу);
- капитальные затраты (необходимое специальное и дополнительное оборудование, стоимость монтажных и пусконаладочных работ, а также транспортные расходы);
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет пенсионных и страховых расходов;
- расчет накладных расходов;
- расчет расходов при эксплуатации электропривода;
- расчет амортизационных отчислений;
- расчет заработной платы обслуживающего персонала.

1. Стоимость материалов, необходимых для ПНР, сведен в таблицу 20.

Таблица 20 – Стоимость ПНР

№	Наименование оборудования и работ	Кол- во	Стоимость работ, руб	
			Цена за ед.	Всего
1	2	3	5	6
1	Выключатель масляный 10 кВ		48000	48000
1	Выключатель быстродействующий, пост. тока 4000А	1	35000	35000
2	Разъединитель трехполюсный	1	10000	10000
3	Разъединитель двухполюсный	1	6000	6000
5	Трансформатор трехфазный типа ТМПД-5000/10	2	40000	80000
6	Трансформатор трехфазный типа ТСЗП-25/0,7	1	186000	186000
7	Функциональная группа управления	1	54000	54000
8	Тиристорный преобразователь типа КТЭ-4000/930-0111	1	40000	40000
9	Тиристорный преобразователь типа КТЭВ-100/230-0011		1960	1960
10	Двигатель пост.тока	1	1500000	1500000
11	Схема сигнализации	1	245000	245000
12	Контактные датчики	1	680000	680000
13	Контур регулирования	1	1320	1320
14	Фазировка электрической линии	5	280	1400
15	Снятие на осциллограф	3	4760	14280
16	Технологический комплекс	30	416	12480
	ИТОГО:			2925436

Таблица 21 - Стоимость материалов для ПНР.

№	Наименование материала	Ед.изм	Кол - во	Стоимость, руб.	
				За ед.	Всего
1	2	3	4	5	6
1	Провод монтажный	<i>м</i>	10	100	1000
2	Лента поливинилхлоридная электроизоляционная	<i>кг</i>	0,05	150	7,5
3	Трубка электромонтажная ХВТ-5УХЛ-2.5	<i>кг</i>	0,1	35	3,5
4	Лакоткань электроизоляционная капроновая ЛКМ-105	<i>м<sup>2</sup></i>	2	80	160
5	Листовой электротехнический текстолит	<i>кг</i>	23	80	1840
6	Листовой фольгированный стеклотекстолит	<i>кг</i>	10	180	1800
7	Уголок стальной	<i>кг</i>	50	15	750
8	Лента электроизоляционная термостойкая само слипающаяся резиновая ЛЭТСАР	<i>кг</i>	0,5	469	234.5
9	Спирт технический	<i>л</i>	0,2	30	6
10	Канифоль	<i>кг</i>	0,15	35	5,25
11	Припой ПОС	<i>кг</i>	0,4	40	16
12	Кампаудный лак	<i>кг</i>	0,5	35	17,5
13	Ветошь	<i>кг</i>	2	10	20
14	Наконечники кабельные	<i>шт</i>	90	2	180
	ИТОГО:				6040,25

2. Рассчитаем заработанную плату персонала с учетом районного коэффициента.

$$З_{пл} = k \cdot Ц_{мпр} = 1,3 \cdot 2765436 = 3595066 \text{ руб.},$$

где  $k=1,3$  - районный коэффициент для г. Новокузнецка.

3.Предприятие отчисляет на социальные нужды 30% (единичный социальный налог)

$$P_{отч} = 0,30 \cdot 3595066 = 1078520 \text{руб.}$$

4.Накладные расходы по ПНР составляют

$$P_p = 1,2 \cdot 3595066 = 4314079 \text{руб.}$$

5.Прочие расходы

$$P_{пр} = 0,08 \cdot (3595066 + 4314079 + 6040,25) = 633214 \text{руб.}$$

Общая смета затрат представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Общая смета затрат.

№	Статьи затрат	На МНР
1	Материальные затраты	2771476,25
2	На зарплату	3595066
3	Выплаты на соц.нужды	1078520
4	Накладные расходы	4314079
5	Прочие расходы	633214
	ИТОГО:	9626919

Расчет сметы затрат на проектирование

В смету на выполнение НТП входят следующие элементы затрат:

- материальные затраты;
- заработная плата;
- отчисления в фонд социального страхования;
- накладные расходы;
- отчисления в дорожный фонд;
- прочие расходы.

1. Материальные затраты - затраты на необходимые материалы (бумага, накладные и т.д.), а также электроэнергия, тепло энергия.  $C_m=500$  руб.

2. Затраты на оплату труда.

Сдельной называется оплата труда за качество и количество выработанной продукции по установленным расценкам.

Повременной называется оплата за количество проработанного времени, независимо от выработки, но с учетом квалификации работника.

В данной работе инженер и научный руководитель имеют повременную форму оплаты труда.

Оплата труда может быть основной и дополнительной. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные добавки, премии.).

Дневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З = \frac{З_m \times K_n}{F_d},$$

где  $З_m$  – месячная зарплата;

$K_n=1,3$  – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат;

$F_d=21$  – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З \cdot \tau_p,$$

где  $\tau_p$  – период рабочего времени руководителя, инженера;  $\tau_{p.инж} = 120$  дней,  $\tau_{p.руков} = 43$  дня.

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$З_{дон} = 0,1 \cdot З_{осн}.$$

Согласно единой тарифной системе, научный руководитель имеет 15-й разряд, инженер - 12-й разряд. Расчет заработной платы инженера и научного руководителя занесем в таблицу 22.

Таблица 22 – Заработная плата

Исполнитель	Оклад	Дневная зарплата	Основная зарплата	Дополнит. зарплата
Инженер	13560	840	100800	10080
Научный руководитель	16104	996	42828	4390

Затраты на оплату труда вычисляются по формуле:



$$\Sigma(Z_{осн} + Z_{дон}) = 100800 + 10080 + 42828 + 4390 = 158098 \text{ руб.}$$

3. Отчисления на социальные нужды 30% от статьи №2.

$$P_{соц} = 0,30 \cdot 158098 = 47429 \text{ руб}$$

4. Накладные расходы. Это расходы связанные с производством, управлением и хозяйственным обслуживанием.

$$P_{накл} = 0,8 \cdot \Sigma(Z_{осн} + Z_{дон}) = 0,8 \cdot 158098 = 126478 \text{ руб.}$$

5. Прочие расходы. Сюда входят износ нематериальных активов, арендная плата, обязательные страховые платежи, налоги и т.д. Принимаются в размере 5-10% от суммы всех статей расходов.

$$P = 0,05 \cdot (C_m + \Sigma(Z_{осн} + Z_{дон})) + P_{накл} = 0,05 \cdot (500 + 158098 + 126478) = 14253 \text{ руб.}$$

Общая смета затрат представлена в таблице 23

Таблица 23- Общая смета затрат

№ п/п	Статьи затрат	На НТП
1	Материальные затраты	500
2	Зарплата	158098
3	Отчисления на соц. нужды	47429
4	Накладные расходы	126478
5	Прочие расходы	14253
	Итого:	346758

Общая сумма затрат на выполнение работы по проектированию и установки составляет:

$$P = P_{общ.нтп} + P_{общ.мнр} = 346758 + 9626919 = 9973677 \text{ руб.}$$

### 3.4. Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов.

### **Расчет стоимости силовой электроэнергии**

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{дв}} \cdot K_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{3150 \cdot 3725 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,92 \cdot 0,9} = 3571141,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, 5 кВт;

$F_{\text{дв}}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, 3725 часов, автоматические линии в 2 смены;

$K_{\text{м}}$  – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6-0.7);

$k_{\text{в}}$  – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6-0.8);

$k_{\text{з}}$  – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7-0.8);

$k_{\text{с}}$  – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92-0.95);

$k_{\text{дв}}$  – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9-0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}} = 3571141,3 \cdot 3,52 = 12570417,4 \text{ руб/год}$$

где  $C_{\text{э}} = 3,52$  руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

### **Расчет амортизационных отчислений**

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации:

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100} = 1500000 \cdot \frac{9,6}{100} = 144000 \text{ руб}$$

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100} = 300960 \cdot \frac{3,5}{100} = 10533,6 \text{ руб}$$

$$A_{\text{год}} = 144000 + 10533,6 = 154533,6 \text{ руб}$$

где  $K$  – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_{\text{А}}$  – проценты отчислений на амортизацию

- Электродвигатели – 9.6%
- Преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. – 3.5%

### ***Заработная плата обслуживающего персонала***

При выполнении работы наладчик имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Оклад наладчика по присвоенному 6 разряду: 9100 руб.

Дневная заработная плата:

$$З_{НАЛ} = \frac{(1.3 \times З_T + \text{Надб}) \times P_K}{F_D};$$

где  $З_T$  - оклад в месяц;

Надб = 3000руб надбавка за сложность;

1.4 - доплата за должность;

$P_K = 1.3$  - коэффициент, учитывающий районное регулирование;

$F_D = 22$  количество рабочих дней в месяц.

Рассчитаем основную зарплату:

$$З_{НАЛ} = \frac{(1,4 \times 1,3 \times 9100 + 3000) \times 1,3}{22} = 876,32 \text{ руб/дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$З_{ОСН} = З \times t_p;$$

где  $t_p$  - период рабочего времени:

$t_p = 247$  – период рабочего времени– 1 год (в 2016 году 247 рабочих дней);

Рассчитаем основную заработную плату за год:

$$З_{ОСН} = З_{НАЛ} \cdot t_p = 876,32 \cdot 247 = 216\,450,60 \text{ (руб)};$$

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$З_{\text{доп}} = 0.15 \times З_{\text{осн}};$$

Рассчитаем дополнительную зарплату:

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 216450,60 = 32\,467,59 \text{ (руб)};$$

Суммарная зарплата:

$$З_{\Sigma} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 216\,450,60 + 32\,467,59 = 249\,918,18 \text{ (руб)}.$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 24.

Таблица 24 – Затраты на оплату труда

Основная з/пл, руб.	216 450,60
Дополнительная з/пл, руб.	32 467,59
Итого	249 918,18

Величина отчислений во внебюджетные фонды

Размер страховых отчислений на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30 %:

$$З_{\text{внеб}} = 30\% \cdot З_{\Sigma} = 0,30 \cdot 249\,918,18 = 74\,675,46 \text{ (руб)};$$

Обязанности по обслуживанию занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$З_{\text{ПЕР}} = 249\,918,18 \cdot 0,1 = 24\,991,82 \text{ (руб/год)}.$$

### **Общая сумма эксплуатационных расходов**

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию  $C_{\Sigma}$ , годовых амортизационных отчислений  $A_{\text{год}}$  и зарплаты обслуживающего персонала  $З_{\text{ПЕР}}$ .

$$P_{\Sigma} = C_{\Sigma} + A_{\text{год}} + З_{\text{ПЕР}} = 12570417,4 + 154533,6 + 24991,82 = 12749942,8 \text{ (руб/год)}$$

Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов.

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

Затраты на ППР электропривода рассчитываются по формуле 17.

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} \quad (17)$$

где

$C_{\text{зар}}=40$  руб·час – средняя заработная плата;

$C_{\text{м}}=34$  руб·час – стоимость материалов для ремонта;

$C_{\text{опр}}=78$  руб·час – общепроизводственные расходы;

$C_{\text{охр}}=32$  руб·час – общехозяйственные расходы.

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 40 + 34 + 78 + 32 = 184 \text{ руб} \times \text{час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата персонала.

Таблица 25 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
2000-3500	7	3	2

Таблица 26– Затраты на ППР электропривода

Наименование процесса	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	7	Раз в 5 лет	184	1288
Текущего ремонта	3	Раз в 1 год	184	552
Технического обслуживания	2	Раз в месяц	184	368

В таблице 26 рассчитаны затраты необходимые на планово–предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 27 – Затраты на ППР электропривода в год

Наименование процесса	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	644
Текущего ремонта	276
Технического обслуживания	4416
Итого	5336

В таблице 28 рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

### 3.5.Определение экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

#### *Интегральный показатель ресурсоэффективности*

Рассмотрим два варианта электропривода:

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором (используется в проекте).

Определим интегральный показатель ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 27).

Таблица 28 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	3	5
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4
4. Энергосбережение	0,20	5	5
5. Надежность	0,25	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,15	4,85

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 = 4,15;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,01 = 4,85;$$

### ***Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки***

( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{4,15}{0,97} = 4,28$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,85}{0,9} = 5,39$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 4.22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{4,28}{5,39} = 0,79$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = \frac{5,39}{5,39} = 1$$

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	0,9
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,15	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,28	5,39
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,79	1

**Вариант 1** дорог в обслуживании из-за неимения аналогов по комплектующим и немногих производителей, их изготавливающих т.к. существуют более совершенное и современное оборудование.

**Вариант 2** достаточно прост в обслуживании, малогабаритен и не имеет множества составных частей, имеет относительно не высокую стоимость и не требует большего количества обслуживающего персонала, все более и более применим в современных условиях и экономически выгоден для предприятий.

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на второй вариант исполнения, как наиболее эффективный.

Выводы по разделу «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1) В данном разделе был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно-технического уровня, который оказался довольно высоким;



2) Было проведено планирование и составлены графики проектных и пусконаладочных работ. Всего потребуется 120 рабочих дней на реализацию проекта;

4) Составлена смета затрат на проектирование. Проведен расчет капитальных и амортизационных вложений, расчет заработной платы исполнителей проекта и обслуживающего персонала, также были рассчитаны эксплуатационные и накладные расходы. Величина затрат на реализацию проекта составила 9 973 677 рублей.

5) Следует отметить, что частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором по всем показателям и расчетам вполне конкурентоспособен и вполне актуален для применения в металлургии. Проект имеет коммерческий потенциал, и его реализация может в дальнейшем приносить достаточную прибыль для существования в сфере развития автоматизации на предприятиях металлургических компаний.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Герасимову Артему Владимировичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

- *ОАО ЗСМК, прокатное производство, непрерывно–заготовочного стана обжимного цеха*
- *вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)*
- *опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)*
- *негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)*

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;*
2. Основными вредными факторами агломерационного цеха являются:  
Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);  
Загазованность;  
Шум и вибрация;  
Отклонение показателей микроклимата;  
Недостаточная освещенность рабочей зоны.

3. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды;*  
Опасными факторами агломерационного цеха являются:  
Возможность получения травм в следствии:  
а) движения машин и механизмов;  
б) движение производственного материала;  
в) Наличие высокого напряжения.

Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

4. *Охрана окружающей среды:*
  - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
  - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);

разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

5. *Защита в чрезвычайных ситуациях:*
  - перечень возможных ЧС на объекте;
  - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
  - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;

разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

<b>Перечень графического материала:</b>
План эвакуации при пожаре

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры Б.Ж.Д.	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2А1	Герасимов Артем Владимирович		

## **4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Целью данной части выпускной квалификационной работы является выявление основных опасных и вредных производственных факторов при наладке главного электропривода прокатной клетки, создание мероприятий по недопущению опасных факторов и уменьшение влияния вредных факторов производства.

### **4.1 Введение**

Технологический процесс получения готового проката является завершающей стадией металлургического производства. Через прокатные цехи проходит почти вся сталь, выплавляемая в сталеплавильных цехах. Исходным материалом для прокатного производства являются слитки и литые заготовки, имеющие поперечное сечение квадратной или прямоугольной формы, а также круглой формы (при производстве труб, колес и бандажей).

Оборудование прокатных станов делится на основное и вспомогательное. К первой группе относятся механизмы, расположенные в главной линии прокатного стана и служащие для деформации металла; рабочая клеть, шестеренная клеть, привод стана, соединительные устройства, редукторы. Ко второй группе относится оборудование, предназначенное для транспортировки и отделки прокатанного металла: слитковозы, рольганги, манипуляторы, кантователи, подъемно-качающиеся столы, ножницы, пилы, правильные машины, моталки, транспортеры, холодильники и прочее вспомогательное оборудование.

Меры безопасности в прокатных цехах во многом зависят не только от конструкции прокатных станов, но и от сортамента прокатываемого металла, особенно на участках последующей обработки и складирования.

В зависимости от формы все прокатные изделия делят на четыре

основные группы: сортовая сталь; листовая сталь; трубы; специальные профили.

Наиболее обширным является сортамент сортовой стали. К профилям общего назначения относят круглую, квадратную и полосовую сталь, ленту, проволоку, угловую сталь, швеллеры, двутавровые балки и другие профили. К профилям специального назначения относят рельсы и профили, применяемые в автотракторостроении, вагоностроении, судостроении, гидротехнических сооружениях, электропромышленности, сельскохозяйственном и текстильном машиностроении и других отраслях народного хозяйства.

Число операций, входящих в технологический процесс прокатки, зависит от требований, предъявляемых к точности профиля, физико-механическим свойствам, состоянию поверхности, макро и микроструктуре. Чем выше эти требования, тем сложнее и из большего числа операций состоит технологический процесс, а, следовательно, больший комплекс мер требуется для создания здоровых и безопасных условий труда.

## **4.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

### **4.2.1 Опасные факторы при наладке электропривода**

К опасным факторам производства относятся такие факторы, которые могут привести при не соблюдении правил техники безопасности к физическим травмам, а также к смертельным случаям. К опасным факторам при наладке электропривода прокатной клетки относятся:

1. Высокая температура.
2. Наличие движущихся агрегатов и механизмов.
3. Наличие высокого напряжения.

В таблице 30 приведены опасные факторы, вид травм, которые можно получить под воздействием данных факторов, а также меры по предотвращению воздействия вредных факторов на организм человека.

Таблица 30 – Опасные факторы

№	Наименование фактора	Вид действия	Меры по предотвращению действия
1	2	3	4
1	Высокая температура при работе с паяльником	Термо – Ожоги	Внимательность в работе
2	Движущиеся части машин и механизмов	Механическое повреждение	Наличие безопасных путей для прохода рабочих, применение ограждения движущихся частей машин и механизмов, применение бирочной системы или наряда-допуска, строгое соблюдение правил техники безопасности, применение звуковой и световой сигнализации, исправное состояние спецодежды
3	Опасный уровень напряжения (до 1000В)	Электро-удары, электро-ожоги	Применение заземления и зануления оборудования, наличие бирочной системы, соблюдение правил ТБ.

#### 4.1.2 Вредные факторы

Вредные факторы производства факторы, которые не приводят непосредственно к физической травме, а ведут к постепенному нарушению работы жизненно-важных органов человека, его нормальной жизнедеятельности.

К вредным факторам при наладке электропривода относятся:

1. Производственный шум – от работы различных механизмов, шум трансформатора, шум работающих кранов.
2. Загазованность – вредные газы при работе с паяльником, общецеховая загазованность.
3. Запыленность.
4. Тепловое излучение.
5. Электромагнитное излучение.

Ниже в таблице 31 приведены вредные производственные факторы.

Таблица 31 – Вредные производственные факторы

Фактор	Мероприятия
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.	В машинном зале (где производится наладка ЭП) применяется приточная и вытяжная вентиляция. Концентрация производственной пыли на рабочих местах не превышает, установленной ПДК – 0,4 мг/м <sup>3</sup> и составляет 0,32 мг/м <sup>3</sup> .
Повышенный уровень шума на рабочих местах.	На рабочих местах, где производится наладка ЭП, уровень шума не превышает ПДУ – 85 дБ и составляет 40 дБ.

Отсутствие или недостаток естественного света, недостаток освещенности рабочей зоны.	В пролетах цеха – общее освещение, естественное и искусственное верхнее. При наладке используется дополнительное местное освещение. Общее освещение составляет 260 Люкс (по нормам не менее 200 Лк).
Движущиеся машины, механизмы, незащищенные элементы производственного оборудования, передвигающиеся заготовки.	Входы на подкрановые пути ограждены, на лестницах повешены плакаты «Вход без наряда-допуска воспрещен». Муфты механизмов ограждены кожухами. Для прохода оборудованы пешеходными мостиками с перильным ограждением.

#### 4.3 Техника безопасности

Технологический процесс прокатки слитков начинается с нагрева в нагревательных колодцах. Нагретые слитки укладываются колодцевым краном на тележку опрокидыватель (слитковоз) с дистанционным управлением, которая подает их на приемный рольганг стана. Для предупреждения сваливания поставленных слитков люльку опрокидывателя делают достаточно глубокой. Если упавший слиток не мешает движению слитковоза, его удаление производят в период пауз. Немедленное удаление упавшего слитка возможно только после подачи сигнала о приостановке работ. Каждая такая операция вызывает необходимость присутствия людей вблизи слитковоза, что сопряжено с опасностью травмирования. Поэтому все работы по удалению упавшего слитка производят под руководством мастера.

Блюминг имеет манипуляторы с обеих сторон стана и кантователи с передней стороны стана. Привод каждой пары линеек манипулятора



осуществляется от двух электродвигателей. Кантователь имеет четыре крюка с самостоятельным приводом. Безаварийная работа блюминга во многом зависит от исправного состояния и правильной эксплуатации этих устройств. При прокатке слитков массой 8—16 т в манипуляторах и кантователе нередко возникают большие динамические напряжения, которые приводят к поломке оборудования, работающего в условиях высоких температур. Это связано с немедленной остановкой блюминга и проведением ремонтных работ. Поэтому кантовку слитка производят плавно, после его полной остановки. Передвижение раската по рольгангу от калибра к калибру манипуляторами осуществляют плавно, без рывков, с нарастанием усилий. Недопустимо исправление кривизны раската с помощью манипуляторов.

В практике работы блюмингов не исключена возможность травмирования рабочих линейками манипуляторов при уборке окалины с приемного рольганга. Чтобы устранить застревание окалины, у рабочих и у приемных рольгангов не ставят поперечных плит, в этом случае вся окалина проваливается в приемные бункера, откуда ее убирают с помощью специальных приспособлений. В случае применения на приемных рольгангах плит скопившуюся окалину убирают с помощью длинных гребков, ни в коем случае не становясь на борта рольгангов.

При ремонтах манипуляторов могут быть случаи придавливания рабочих линейками вследствие их случайного включения. Поэтому при ремонтах применяют ключи-жетоны, запирающие пусковые устройства на пультах управления. Рейки манипуляторов на всем протяжении хода до предельного заднего положения закрывают предохранительными кожухами.

При работе на блюмингах особое внимание следует обращать на безопасный доступ к соединительным шпинделям и кулакам для их смазки. На блюмингах первых выпусков, не имевших ограждений шпинделей и площадок для доступа к ним, расстояние между соединительными шпинделями было довольно значительное, поэтому случаев затягивания ими

рабочих на блюмингах не было. На современных блюмингах для безопасного доступа к верхнему соединительному шпинделю оборудованы площадки с перилами, а нижний шпиндель огражден перилами.

Для удобного доступа к отдельным частям стана с обеих сторон клетки на уровне рольгангов устраивают постоянные площадки с лестницами и перилами, защищенными от воздействия теплоизлучения съемными сетчатыми щитами.

Прокатка слитков на блюминге сопровождается выбросами с большой скоростью частиц окалины, осколков металла и брызг шлака. В практике работы отечественных и зарубежных блюмингов имели место случаи, когда отлетающие частицы приводили к разрушению остеклений пультов управления и травмированию операторов и находящегося у стана обслуживающего персонала.

Для защиты операторов от отлетающей окалины остекление той части пультов управления, где необходима хорошая видимость, выполняют из небьющегося стекла типа сталинит. Остальную поверхность остекления выполняют из армированных стекол либо защищают стекла густыми металлическими сетками.

#### **4.4 Производственная санитария**

Промышленное предприятие ОАО «ЗСМК» расположено на удалении 25 км от города Новокузнецка в специально выделенном промышленном районе. Цеха, с вредными выделениями, выделяются расположением с подветренной стороны по отношению к другим цехам. В необходимых случаях применяется пылеулавливание и газоочистка.

Территория предприятия не только удовлетворяет требованиям производства, но и всем санитарным нормам: она ровная, хорошо освещена, имеет достаточной величины проходы и проезды.

Для обеспечения оптимальных санитарно-бытовых условий труда, определяющее значение имеет тип здания, расположение в нем рабочих помещений, их объемов, площадь, приходящаяся в среднем на одного рабочего и т.п.

Температура, влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений обжимного цеха соответствует [9].

На комбинате оборудованы санитарные посты, укомплектованные аптеками, медикаментами, носилками и другими средствами для оказания первой медицинской до врачебной помощи пострадавшим.

Питьевой режим людей, работающих в производственных помещениях цеха, организован в соответствии с требованием санитарных норм.

Прием пищи производится только в столовых, буфетах или специально выделенных для этого помещениях. Прием пищи на рабочих местах запрещен. Отопление, вентиляция или кондиционирование воздуха производственных помещений цеха соответствует требованиям СН и П [9].

В процессе производства обеспечивается непрерывная работа всех приточно-вытяжных и аспирационных, вентиляционных установок.

В производственных помещениях предусмотрено рабочее и аварийное освещение в соответствии с требованиями СН и П [9].

Источники питания аварийного освещения соответствуют требованиям ПУЭ [9]. Включение и отключение рубильников общего освещения в здании цеха, смена и чистка светильников, арматуры и ламп, смена штепсельных розеток и предохранителей, монтаж и демонтаж производится только электротехническим персоналом.

Светильники рабочего и аварийного освещения расположены так, что обеспечивается надежность крепления, безопасность и удобство обслуживания.

Санитарно-бытовые помещения предназначены для удовлетворения нужд работников. Сюда относятся гардеробы с душевыми и умывальниками, комнаты по обеспыливанию, просушиванию и обезвреживанию одежды, помещения для приема пищи и отдыха, здравпункты для оказания первой помощи пострадавшим, а также для проведения лечебной и профилактической работы.

## **4.5 Пожарная безопасность**

### **4.5.1 Категория производства**

Прокатное производство характеризуется тем, что в обращении постоянно находится горячий металл, при обработке которого выделяется значительное количество лучистого тепла, искр раскаленного металла и окалины. Кроме этого в цехе используются горючие газы в качестве топлива в нагревательных печах. Из выше перечисленных факторов, характеризующих прокатное производство, цех относится к категории Г (согласно ОНТП 24-86). Но в цехе имеются помещения, которые могут быть отнесены к более высокой категории пожароопасности: маслоподвалы, характеризующиеся наличием большого количества масла для нужд стана, которое способно к воспламенению, можно отнести к категории В; проходы около газопровода, подающих топливо в печь, характеризующиеся наличием легковоспламеняющегося газа, можно отнести к категории А.

Огнестойкость прокатного цеха определяется прежде всего стойкостью конструкций сохранять свою несущую способность при воздействии высоких температур. Поскольку основными материалами, использованными при

строительстве цеха, являются металл и бетон, цех имеет достаточно высокую огнестойкость.

#### **4.5.2 Причины и источники пожаров в цехе, меры по их предотвращению**

К источникам пожаров в прокатном цехе можно отнести:

1. Наличие широко развитой сети кабельного хозяйства, в котором все кабели горючие;
2. Наличие большого количества масла в маслоподвалах;
3. Наличие сети масляных гидроприводов, в которых постоянно поддерживается избыточное давление  $20 \text{ МПа}$ ;
4. Использование горючих газов в нагревательных печах;
5. Наличие в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов (изоляция обмоток электрических машин, трансформаторов, различных электромагнитов);
6. Коммутационные аппараты и плавкие предохранители.

Причины, которые могут привести за собой возгорание различных предметов, заключены в следующем:

1. Нарушение нормальной работы машин и механизмов;
2. Перегрузки электрических сетей;
3. Нарушение правил пожарной безопасности.

В целях предотвращения пожара предусматривают следующие меры:

1. Предотвращение образования горючей среды;
2. Предотвращение образования в горючей среде или внесения в нее источников зажигания;
3. Поддержание температуры и давления горючей среды ниже максимально допустимых по горючести;

4. Уменьшение определяющего размера горючей среды ниже максимально допустимого по горючести;

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

1. Максимально возможное применение негорючих и трудногорючих веществ и материалов в производственных процессах;
2. Ограничение количества горючих веществ и их надлежащее размещение;
3. Изоляцию горючей среды;
4. Предотвращение распространения пожара за пределы очага;
5. Применение средств пожаротушения;
6. Применение конструкций производственных объектов с регламентированным пределом их огнестойкости и горючести;
7. Эвакуацию людей в случае пожара;
8. Применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре;
9. Применение средств коллективной и индивидуальной защиты от огня;
10. Организацию пожарной охраны объекта.

Организационными мероприятиями по обеспечению пожарной безопасности являются обучение рабочих и служащих правилам безопасности, разработка и реализация норм правил пожарной безопасности, инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности.

#### **4.5.3 Первичные средства тушения пожара**

К первичным средствам тушения пожаров относятся: вода, песок, различные брезентовые накидки, огнетушители. Принцип тушения этими

средствами основан на перекрытии доступа воздуха в очаг пожара. В таблице 32 приведены данные некоторых огнетушителей.

Таблица 32 – Огнетушители

Тип огнетушителя	Марка	Время раб., мин.	Виды материалов подлежащих тушению
1. Воздушнопенный	ОВП	0,7	Различные материалы, кроме щелочных металлов и электроустановок.
2 Углекисло-бромэтиловый	ОУБ-3 ОУБ-7	—	Небольшие очаги пожара при воспламенении горючих веществ.
3 Углекислотный	ОУ-2 ОУ-5 ОУ-8	0,5 0,55 0,66	Различные вещества и материалы, а также электроустановки
4. Порошковый	ОП-1	-	Легковоспламеняющиеся жидкости, твердые вещества, электроустановки

#### 4.6 Охрана окружающей среды

По валовым выделениям пыли и образованию газов прокатное производство относится к наименее тяжелым участкам металлургического производства. Нагрев и горячая прокатка слитков способствует образованию значительного количества окалина. Технологический процесс связан с применением большого количества воды для смыва и транспортировки окалина, охлаждения прокатных валков, роликов рольгангов и проводковой арматуры. Высокая степень механизации технологического процесса требует применения в большом количестве масел и смазок.

Технология нагрева и прокатки слитков включает в себя отходы производства, воздействующие на окружающую среду:

- дымовые газы, сварочный шлак, окалину и пыль в отделении нагревательных колодцев;
- окалину и пыль на стане 1250;
- обрезь на ножницах горячей резки блюминга 1250 и НЗС;
- обрезь, окалину и пыль на адьюстаже при порезке и обработке заготовок ручными резаками и на шлифовально-обдирочных станках;
- воду с примесями окалины, масел и смазок по линии прокатки на блюминге 1250, НЗС и склада горячих заготовок.

Характеристика отходов производства в обжимном цехе в 2001г. приведена в таблице 4.4.

В цехе установлена одна газоочистная и пять пылеулавливающих установок. В период неблагоприятных метеоусловий производить внеплановый осмотр технического состояния всех газо- и пылеулавливающих установок с устранением выявленных отклонений от правил технической эксплуатации. В это время запрещается чистка пылеулавливающих установок, разведение костров, задымляющих территорию цеха.

Технологический процесс прокатки слитков на стане сопровождается дроблением и истиранием окалины. Это способствует большому выделению крупно- и мелкозернистой пыли, содержащей  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $FeO$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $SiO_2$  и др. Для отсоса пыли из клетки 1250 применяется аспирационная установка АС-1, состоящая из пылеотборного короба, установленного над раскатным рольгангом за клетью, газохода, дымососа Д-2 производительностью 150000  $m^3/час$ , увлажнителя пыли во втором газоходе и трубы. Установка АС-1 должна работать при работе блюминга. Окалина смывается потоком воды от увлажнителя пыли и в виде шлака поступает по наклонному желобу в яму для отстоя окалины блюминга.

В процессе огневой зачистки металла выделяется большое количество тепла, водяных паров, продуктов сгорания и мелкодисперсной металлической пыли.



Химический состав пыли в продуктах сгорания представлен оксидами железа до 90%, а газа содержат до 70% азота. Для очистки газов и пыли установлена система двойной очистки.

Отсос продуктов сгорания от МОЗ осуществляется через газо-отборный короб, установленный над рольгангом перед машиной, подземной орошаемый бором и газоход с противоточной подачей воды. Система газоочистки состоит из трех параллельных ниток. Каждая нитка включает в себя, пылеулавливатель (труба Вентури), циклон и дымосос. Первая и третья нитка оснащена дымососами типа ВМ20А, а вторая ВМ 100/1200.

Эксплуатационная производительность каждой нитки составляет 90000  $\text{м}^3/\text{час}$ , одна из которых находится в резерве. В каждом пылеуловителе предусмотрено предварительное орошение газов водой через форсунки для коагуляции мелкодисперсных частиц пыли, а мокрые циклоны являются улавливателями и коагуляторами мелких капель, состоящих из воды и пыли. Скоагулированные частицы вместе с водой из пылеулавливателя поступают в отстойник оборотного цикла прокатных цехов, а очищенные продукты сгорания через трубу выбрасываются в атмосферу.

В процессе абразивной зачистки на станках образуется большое количество мелкодисперсной пыли, состоящей из соединения кремния, марганца, стружки металла и других веществ. Для отсоса пыли в цехе предусмотрено четыре пылеотсасывающих установки АС-2 с производительностью вентиляторов 50000  $\text{м}^3/\text{час}$ . Отсос пыли осуществляется без увлажнения, через установку состоящую из пылеулавливателя, короба отделения пыли от стружки, воздуховода, четырех циклов, вентилятора и выхлопной трубы.

Нормативы предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу от источников обжимного цеха за 2016 г. приведены в таблице 33

Таблица 33 – Норматив предельно допустимых выбросов вредных веществ

Источник выделения вредных веществ (агрегат, установка)	Выбросы вредных веществ в атмосферу т, год		
	Наименование веществ	Базовый выброс	Предельно допустимый выброс
1	2	3	4
Нагревательные колодцы	Пыль	59	60
	Окись углерода	2668,9	2660
	Сернистый ангидрид	479,7	480
	Окислы азота	58,4	50
	Бензаперен	0,00015	0,00015
Клеть 1250АС-1	Пыль	22,53	30
МОЗ	Пыль	92,8	110
	Окись углерода	1319,8	1310
	Сернистый ангидрид	3,9	9
	Окислы азота	139,1	140
1	2	3	4
Зачистные станки АС-2	Пыль	27,63	30
Итого	Пыль	201,86	238
	Окись углерода	3988,7	3970
	Сернистый ангидрид	438,6	489
	Окислы азота	197,5	190
	Бензаперен	0,00015	0,00015

Поступающие в атмосферу окись углерода, азота, пыли и т.д. оказывают различное токсичное воздействие на организм человека. Так, оксиды азота воздействуют на органы дыхания, приводят к отеку легких. Превышение нормативной величины окислов азота практически в 2 раза внушает опасение, т.к., в черте города окислы азота, взаимодействуя с углеводородами выхлопных газов, образуют фотохимический туман смог. Оксид углерода воздействует на нервную и сердечно-сосудистую системы. Источниками атмосферной пыли является зола, образующаяся при сгорании топлива. Сажа обладает большой адсорбционной способностью по отношению к тяжелым углеводородам и в том числе к бензаперену, что делает сажу весьма опасной для человека.

Снижение вредных выбросов в атмосферу позволит цеху значительно увеличить прибыль, прежде всего за счет того, что не будет необходимости в уплате из прибыли штрафных санкций в бюджет и внебюджетные фонды за нарушение требований по охране окружающей среды.

#### **4.7 Чрезвычайные ситуации**

Наибольшую опасность для жизнедеятельности производственного персонала представляют аварии и катастрофы технических систем. Под аварией понимают непредвиденную внезапную остановку или нарушение нормальной (штатной) работы производственного (технологического) процесса. Как правило, авария сопровождается повреждением или уничтожением техники и других материальных ценностей, а также травматизмом работников технических систем и случайно оказавшихся на месте аварии других людей. Следствием аварий могут быть пожары и взрывы, которые усугубляют их негативное воздействие на безопасность людей и окружающей среды. Катастрофой называют внезапное бедствие, событие в технической системе или природной среде, влекущее за собой трагические

последствия — разрушение зданий, сооружений и других компонентов технических систем, уничтожение материальных ценностей и гибель людей. Катастрофы и аварии, как правило, сопровождаются пожарами и взрывами, затрудняющими оказание помощи пострадавшим и ликвидацию последствий этих чрезвычайных происшествий.

Причинами аварий и катастроф могут являться стихийные бедствия, нарушения режимов технологических процессов (несоблюдение технологической дисциплины) либо правил эксплуатации производственного, энергетического, транспортного и др. оборудования, а также правил техники безопасности. Особо тяжкие последствия имеют аварии и катастрофы на предприятиях атомной, химической, газовой, горнодобывающей промышленности, на железнодорожном, автомобильном, воздушном и водном транспорте. Такие аварии и катастрофы зачастую оказывают губительное влияние не только на людей, но и на природную среду, вызывая загазованность атмосферы, разливы на суше и воде нефти, нефтепродуктов, агрессивных жидкостей, сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ), выбросы радионуклидов.

В последние годы число крупных аварий и катастроф неуклонно возрастает во всем мире, в том числе и в России. Для выявления их общих закономерностей в РФ создана компьютерная база данных, названная Банком аварийных ситуаций (БАС). Здесь содержатся сведения о чрезвычайных происшествиях во многих отраслях экономики; генезис и детали происшествий; главные ошибки производственного персонала; размеры ущерба; программа расчета сил и средств, необходимых для ликвидации этих последствий. БАС используется при обучении специалистов производства и спасателей, а также для профилактики аварийных ситуаций.

Общепризнанно, что все современные технические системы не являются абсолютно безопасными. Объективно они всегда потенциально опасны, так как в них происходят процессы (явления) и содержатся объекты, способные в

определенных условиях нанести ущерб (вред) здоровью человека и даже лишить его жизни. Данные процессы и объекты, действующие на организм человека непосредственно или косвенно, принято называть опасными и вредными факторами. Эти факторы действуют во внешне определенной области пространства, которую называют опасной зоной.

Нахождение человека в данной зоне и нарушение им правил безопасности может привести к несчастным случаям, т.е. травме, аварии, катастрофе. Опасность может быть оценена количественно, например, величиной риска. Риск понимается как возможность (вероятность) возникновения нежелательного события за определенный отрезок времени. Величина риска и обратная величина —уровень безопасности — зависят от конкретных условий и обстоятельств, в которых протекает жизнь и деятельность человека, а также от его психофизиологических свойств, определяющих его поведение при нахождении в опасной зоне.

Риск в производственной среде определяется прежде всего техническими факторами: устойчивостью работы машин, оборудования, инструментов, приспособлений, а также методами технологии и организации производства, условиями микроклимата на рабочем месте. Именно эти факторы при неблагоприятном стечении обстоятельств становятся вредными и опасными для работников, приводящими к травмам, заболеваниям, а также к летальному исходу.

Большое значение для снижения аварий в производственной среде имеет повышение надежности технических систем. Надежность техники и технологии определяется безотказной, безаварийной работой в течение определенного отрезка времени, например, гарантийного срока. Обеспечение надежности технических систем закладывается еще при их проектировании, контролируется при изготовлении и эксплуатации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью при выполнении проектирования данной выпускной квалификационной работы является подтверждающий расчет существующего оборудования электропривода главного клетки горизонтальной обжимного цеха непрерывно заготовочного стана.

Система управления автоматизированного главного электропривода горизонтальной клетки состоит: электродвигатель, система передаточная, управляющая и преобразовательная, которые совместно представляющие очень сложную структуру электромеханическую. Помимо того, на характер работы этой данной системы оказывает существенное влияние специфика производства прокатного, что кроме того представляет весь строй требований к системе электропривода горизонтальной клетки.

В результате выполненного нами проекта спроектирован электропривод, целиком отвечающий требованиям технического задания и во всем указанным выше особенностям. Так, характеристики электромеханические электропривода, ограниченные значениями  $\omega = \omega_{\text{эп.макс}}$  и  $I = I_{\text{эп.макс}}$ , соответствуют и удовлетворяют номинальным значениям области существования характеристик, данной проектируемой системы преобразователь – мотор.

Характеристики статические электропривода, при настройке на тип П-регулятор скорости, на тип ПИ-регулятор тока якоря, тока возбуждения и ЭДС двигателя соответствуют и удовлетворяют заданным условием: погрешность поддержания скорости максимальной ( $\Delta\omega = 0,212 \%$ ); и погрешность поддержания скорости минимальной ( $\Delta\omega = 2,12 \%$ ).

Проанализировав логарифмических амплитудных частотных и фазочастотных характеристик замкнутого контуров скорости, данная спроектированная САУ РЕП обеспечивает требуемую, полосу пропускания по модулю ( $f_m = 47,65$  Гц) и по фазе ( $f_{\phi} = 33,36$  Гц). Проанализировав переходные процессы, показатели динамические качества САУ РЕП во всем диапазоне регулирования скорости полностью соответствуют и удовлетворяют требованиям

технического здания. Время пуска электропривода на максимальную рабочую скорость составляет  $t_p=5$  с, а перерегулирование  $\sigma < 1$  %.

Электропривод горизонтальной клетки, кроме того, оснащён системой защиты и сигнализации, обеспечить безопасную работу и безаварийную.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» ВКР рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода. Составлена смета затрат на выполнение ПНР.

В разделе «Социальная ответственность» мы рассмотрели опасные и вредные факторы, угрожающие обслуживающему электротехническому персоналу. В соответствии с этим разработаны меры техники безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии.

## Список использованных источников

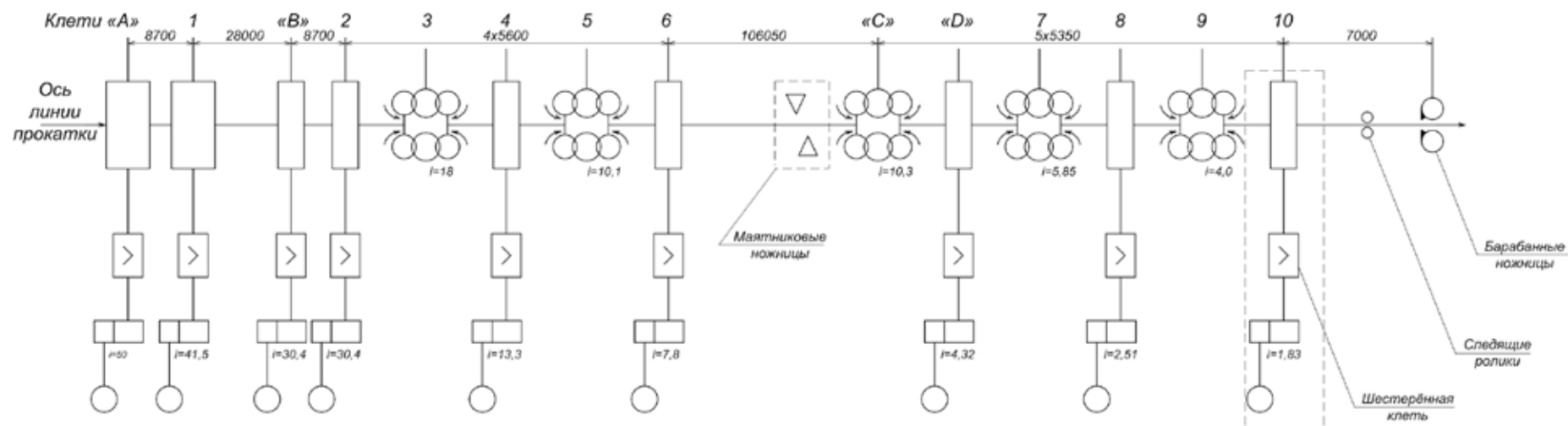
1. Копылов В.П. Справочник по электрическим машинам. Том 1. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
2. Удуг Л.С., Мальцева О.П., Коянин Н.В. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие. – Томск, 1991.
3. Справочник по комплектным тиристорным электроприводам. Под ред. Перельмутера В.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургических производств. – М.: Высшая школа, 1977.
5. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия, 1969.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами энергоиздат, 1982.
7. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами. – М.: Высшая школа, 1979.
8. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – Спб.: Издательство ДЕАН, 2001.
9. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – Челябинск, 1998.
10. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
11. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
12. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
13. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.



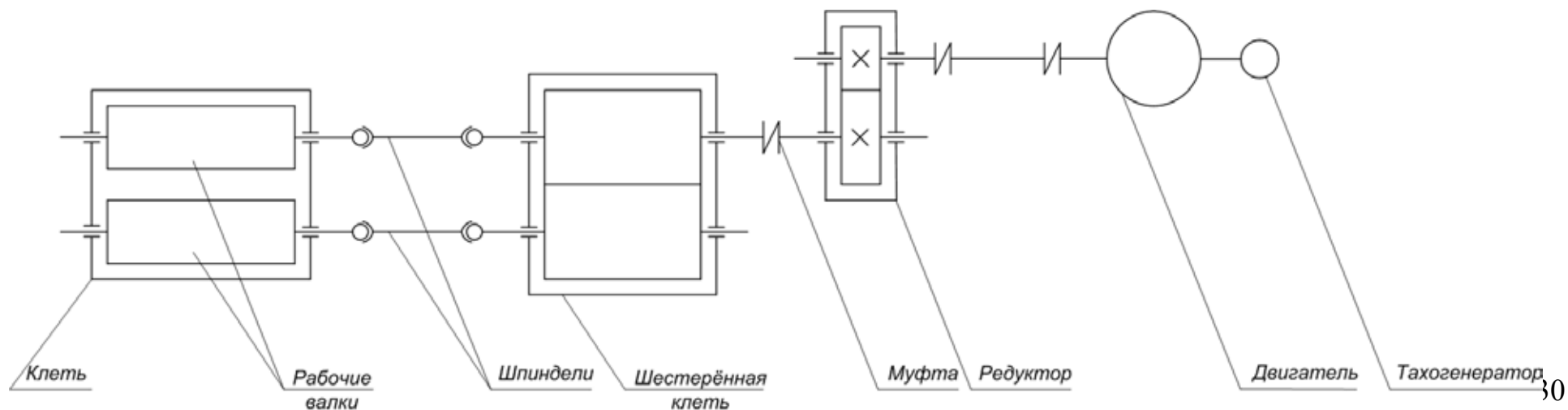
## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Графический материал

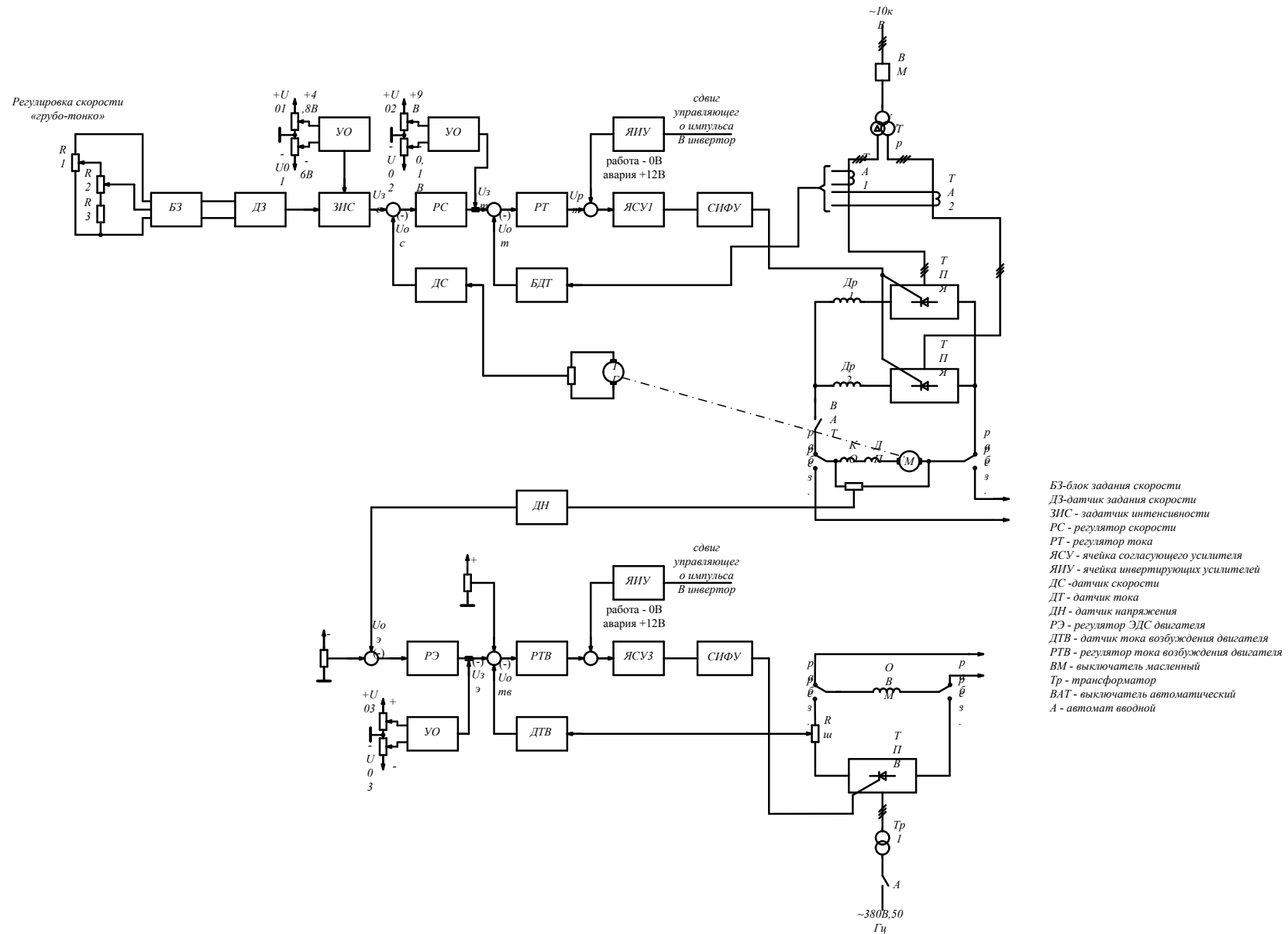
## Схема непрерывно-заготовочного стана



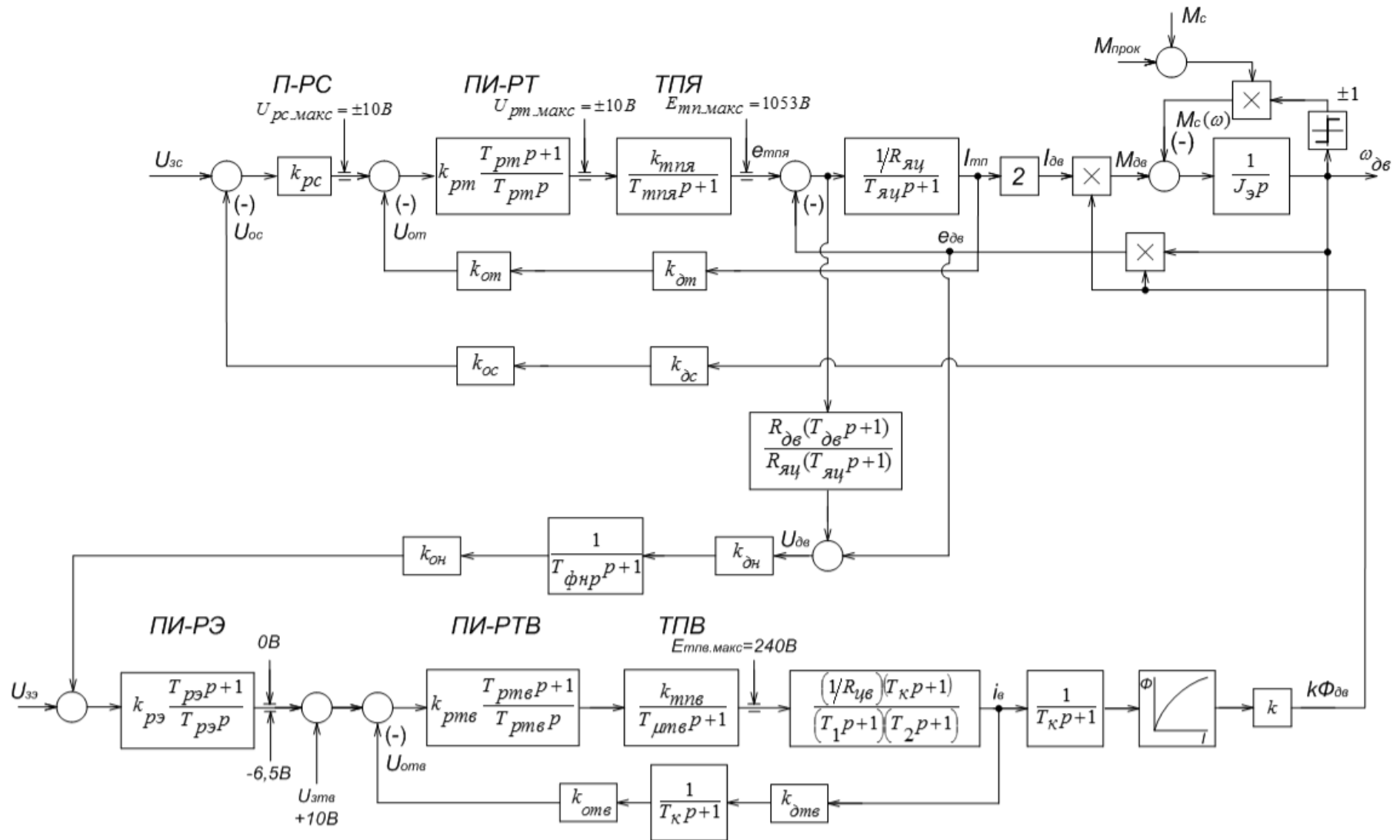
## Кинематическая схема общего вида электропривода клетки №10

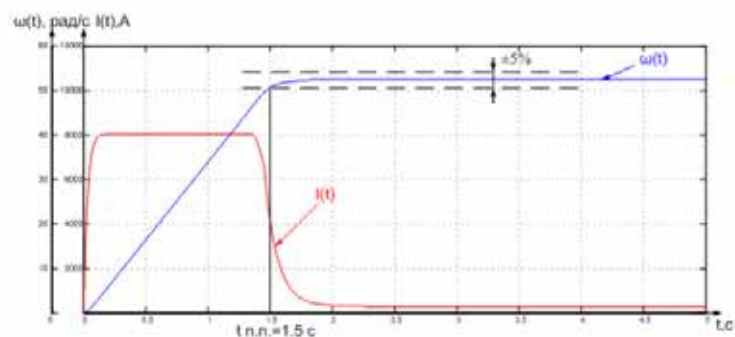


## Функциональная схема электропривода клетки №10

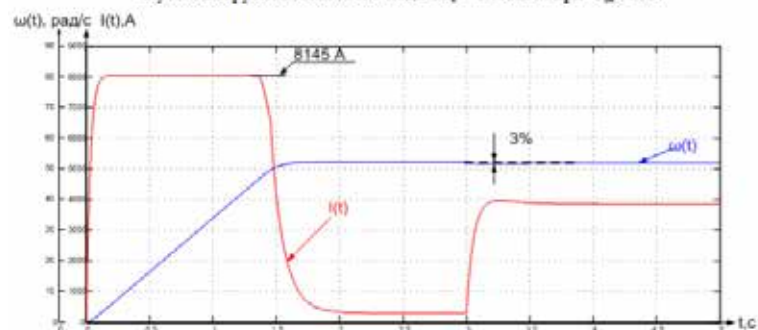


### Структурная схема электропривода клетки №10

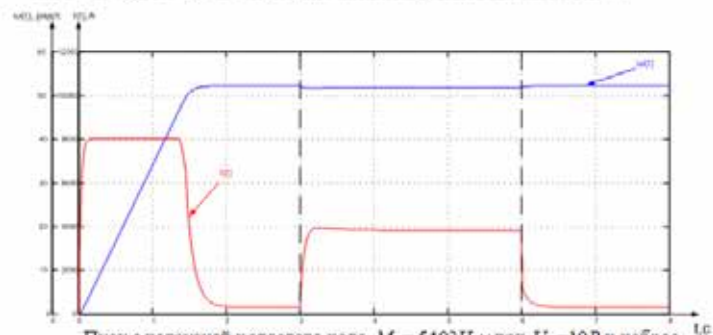




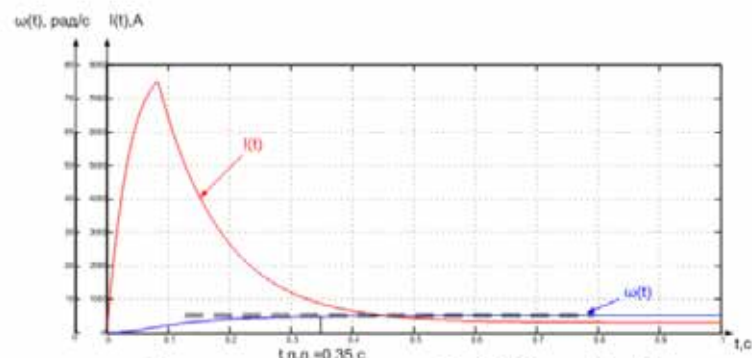
Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_n = 10 \text{ В}$ .



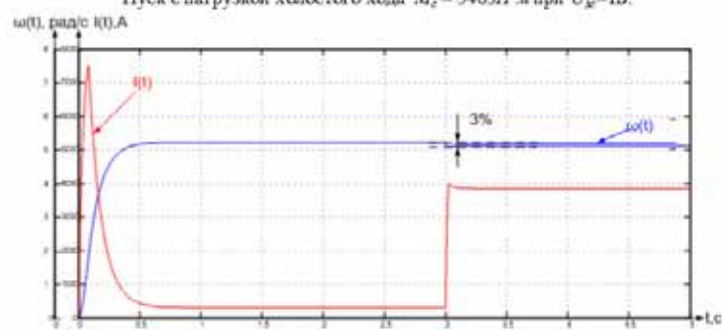
Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_n = 10 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 3 секунд до момента прокатки  $M_c = 62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .



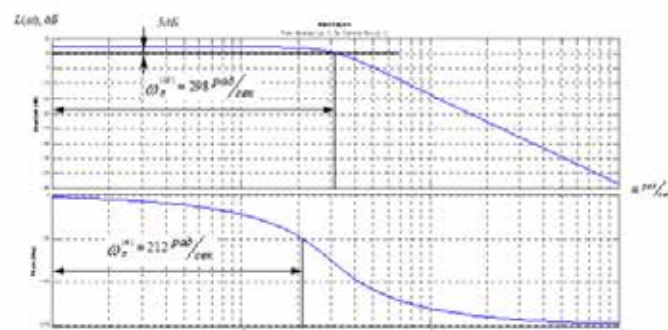
Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_n = 10 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 3 секунд до момента прокатки  $M_c = 62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$  в 6 секунд сброс нагрузки, что соответствует окончанию прокатки.



Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_n = 1 \text{ В}$ .



Пуск с нагрузкой холостого хода  $M_c = 5403 \text{ Н}\cdot\text{м}$  при  $U_n = 1 \text{ В}$  и наброс нагрузки через 3 секунд до момента прокатки  $M_c = 62185,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .



ЛЧХ замкнутого контура скорости